

Николаев Ю.Н.
Кандидат физико-математических наук,
член-корреспондент Российской академии
естественных наук;
Шмурнов Е.А.
член-корреспондент Академии электро-
технических наук РФ;
Чубуков Н.Н.

Использование мультианалитического подхода для повышения экологической безопасности и обитаемости военной автомобильной техники

Рассматривается перспективный путь развития средств газового анализа, заключающийся в разработке мультианалитических систем с применением методов управления массивами избыточных данных, основанных на современных достижениях в распознавании образов. Описан опытный образец системы "Электронный нос", сочетающий в себе матрицу сенсоров, обладающих высокой перекрестной чувствительностью, с аналитическим устройством, логика вывода которого основана на нечетких операторах. Разработана методика калибровки для идентификации «карт запахов» газовых смесей.

Важными показателями эффективности и конкурентоспособности на мировом уровне современной отечественной военной техники является обеспечение требований экологической безопасности (экологичности) и обитаемости в соответствии с [1, 2]. Данные документы определяют перечень требований, предъявляемых к образцам вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), выполнение которых позволяет исключить или снизить до допустимых значений воздействия на личный состав, окружающую природную среду и местное население вредных и загрязняющих факторов, сопровождающих его эксплуатацию. Эти требования в обязательном порядке входят в разделы технических заданий на опытно-конструкторские работы: «Требования по безопасности и химической защите» и «Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике». Особенно необходимо выполнение данных требований для военной техники на базе автомобильного транспорта, так как ее эксплуатация сопровождается выбросом в атмосферу загрязняющих веществ. Такая техника состоит на вооружении всех родов войск и видов вооружения, и актуальность контроля ее экологичности и обитаемости обусловлена именно ее массовостью.

Согласно [3], в атмосферном воздухе и воздухе пассажирских помещений и кабин могут находиться загрязняющие вещества,

образующиеся при сгорании топлива в двигателях внутреннего сгорания, работающих на бензине, дизельном топливе и газе, а также при испарении топлива и смазок из систем и механизмов автотранспорта. Предельно допустимые концентрации (ПДК) данных вредных веществ (ВВ) приведены в таблице 1. Превышение ПДК данных веществ ведет к снижению работоспособности и повышению вероятности ошибок экипажей, выведению из строя перевозимого личного состава, загрязнению окружающей среды.

Уменьшить влияние последствий, обусловленных превышением ПДК ВВ, можно установкой на автотехнику систем мониторинга воздуха кабин и салонов автомобилей. При этом измерения должны осуществляться непрерывно в автоматическом режиме, а результаты измерений – удовлетворять требованиям точности, воспроизводимости и достоверности в соответствии с [4].

Традиционный путь улучшения качества газового анализа основывается на повышении селективности собственно датчиков. Однако вредные вещества в чистом виде в реальных условиях измерений не встречаются, поэтому при измерениях смесей такой путь на практике малоэффективен из-за перекрестных корреляций компонентов.

Принципиально новый – мультианалитический подход к решению задачи стал возможным с появлением наносенсоров и мик-



ропроцессорной обработки избыточной информации, а также ее фильтрации с целью извлечения полезного сигнала и представления его в требуемой форме. При этом селективность отдельных сенсоров к измеряемым компонентам перестает иметь решающее значение, а большую значимость приобретает

свойство их перекрестной чувствительности. Идея использования эффекта реагирования одного датчика на несколько составляющих смеси была предложена НПО «Прибор» ранее [5] и нашла применение в системах предупреждения пожара.

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ, образующихся при сгорании топлива в двигателях внутреннего сгорания

Наименование вещества	Химическая формула	Диапазон измерений массовых концентраций вредных веществ, [мг/м ³]		Атмосферный воздух	
		Начало	Конец	ПДК _{мр} мг/м ³	ПДК _{сс} мг/м ³
Гексан	C ₆ H ₁₄	30	270	60	-
Формальдегид	HCHO	0,015	0,15	0,035	0,003
Азота диоксид	NO ₂	0,1	1	0,2	0,04
Метан	CH ₄	25	250	50	-
Азота оксид	NO	0,2	2	0,4	0,06
Углерода оксид (угарный газ)	CO	2,5	25	5	3

Примечания:

мр – максимально разовая концентрация, мг/м³;

сс – среднесменная концентрация, мг/м³.

Применение при фильтрации логических операторов, изменяющих конфигурацию алгоритма в зависимости от распределения информативных сигналов на сенсорах, в сочетании с методологией статистической теории проверки гипотез [6], позволило снизить размерность пространства измерений за счет выделения наиболее информативных сенсорных элементов и перейти к созданию нового типа интеллектуальных аналитических систем, известных как «электронный нос» [7, 8].

Принцип работы системы «электронный нос» основан на том, что каждый сенсор в матрице характеризуется различными парциальными чувствительностями по отношению к пространству анализируемых запахов и имеет характерное распределение откликов на спектр тестируемых запахов. Ансамбль откликов мультинаносенсорной матрицы является достаточно сложным, однако представимым, например, в виде многоугольника на лепестковой диаграмме, который является своеобразной «картой запаха».

Применение алгоритмов нечетких множеств делает возможным сравнение «карты запаха» с некоторыми опорными областями на диаграмме, полученными при многомерной калибровке ранее. Таким образом, при условии достаточной воспроизводимости «карты запаха», может осуществляться идентификация состава смеси и концентраций компонентов.

За основу для разработки опытного образца был взят универсальный автоматический газоанализатор ГАНК-4 (рисунок 1), успешно зарекомендовавший себя за 20 лет эксплуатации на объектах различного назначения для экологического контроля воздушной среды. Этот прибор был установлен на орбитальную станцию «Мир» после нештатной ситуации на борту в космосе – пожара, и успешно работал на орбите в течение всего полета [9].

Разрабатываемая система контроля воздуха должна решать следующие задачи:

- 1 Распознавание состава воздушной смеси в кабинах и салонах автотранспорта.
- 2 Определение концентраций компонентов смеси.
- 3 Выдача сигнала превышения ПДК.





Рисунок 1 – Фотография газоанализатора ГАНК-4

В процессе конструкторских испытаний блока неселективных сенсоров газового анализа была проведена многомерная калибровка по шести компонентам (таблица 1), при этом были выявлены перекрестные корреляции компонентов (рисунок 2).

С целью формализации предметной области исследований результаты испытаний были интерпретированы следующим образом:

датчики по формальдегиду и диоксиду азота перестают на них реагировать при наличии любого из четырех оставшихся компонентов;

зоны малых концентраций на датчике азота диоксида перекрываются по четырем компонентам и превышают верхнюю точку диапазона азота диоксида;

все датчики, кроме азота оксида и углерода оксида, проявляют чувствительность не на «свои» компоненты – датчик гексана максимально чувствителен к метану, формальдегида – к углерода оксиду и т.п.

В процессе совместных измерений входов и выходов датчиков:

$$\{C_{ij}, U_{ij}\}, i, j = 1, \dots, N, (1)$$

были построены перекрестные функции преобразования измерительных каналов:

$$U_{ij} = f(C_{ij}); i, j = 1, \dots, 6, (2)$$

где: U_{ij} – напряжение на i -м сенсоре по j -му компоненту;

C_{ij} – концентрация j -го компонента, рассчитываемая по напряжению на i -м сенсоре, найденная по формуле:

$$C_{ij} = f^{-1}(U_{ij}); i, j = 1, \dots, 6. (3)$$

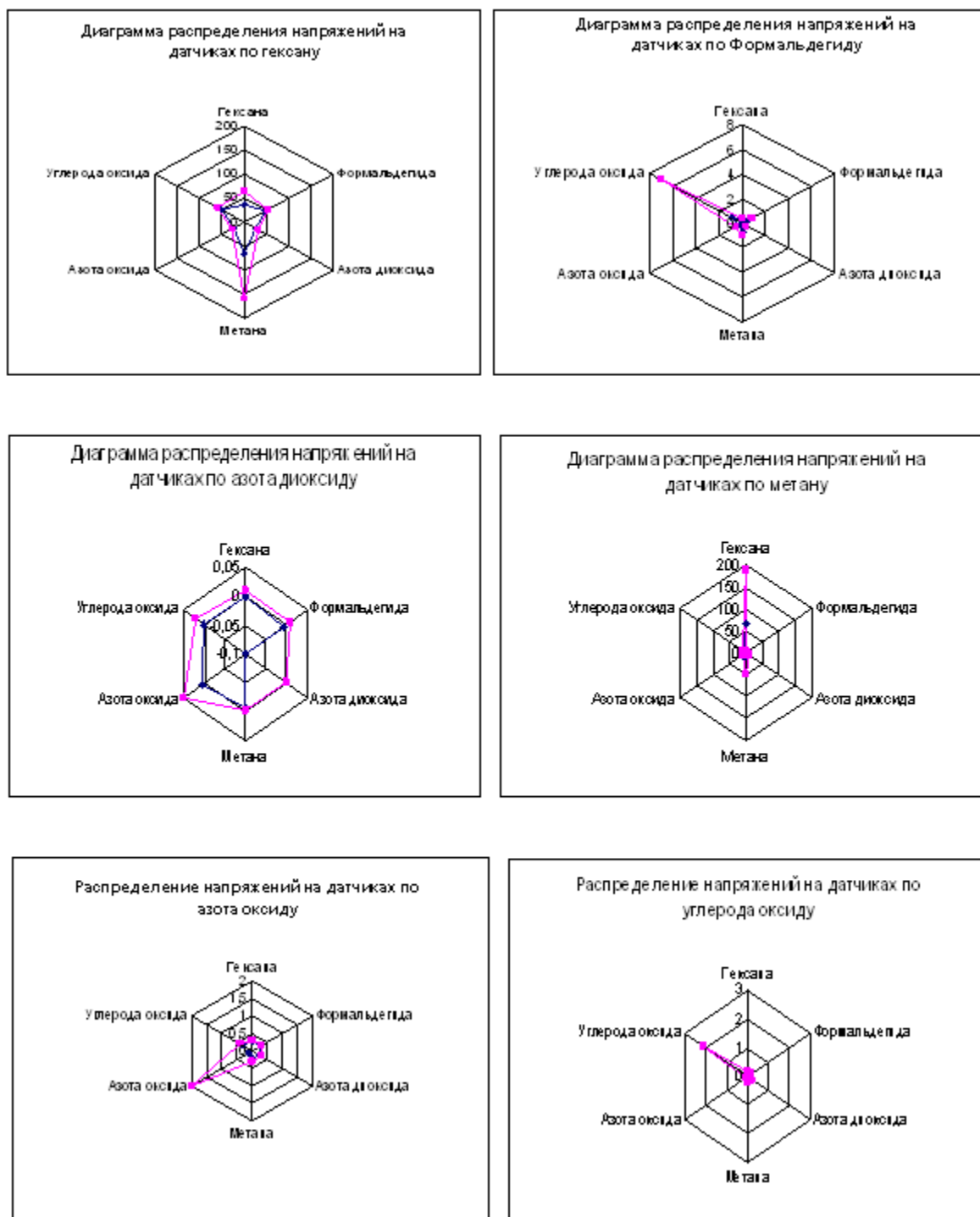


Рисунок 2 – Лепестковые диаграммы распределения напряжений на датчиках, соответствующих диапазонам изменения концентраций компонентов

Далее, по результатам анализа диаграмм (рисунок 2), были выделены N характерных признаков наличия компонентов смеси и синтезированы условные операторы:

если $\langle \text{в наличии} \rangle \{ \text{признак } k \}$ и $\{ \text{признак } l \}$,
то $\langle \text{присутствует} \rangle \{ \text{компонент } m \}$, $k, l = 1, \dots, N$; $m = 1, \dots, 6$. (4)

Признаком наличия или отсутствия ВВ является, прежде всего, попадание напряжений на определенных сенсорах в диапазон

напряжений на шкале определенного сенсора, занимаемый данным компонентом, с учетом зон перекрытия этого диапазона при наличии других составляющих смеси. При этом задача построения опорных областей лепестковых диаграмм (рисунок 2) решается в процессе многомерной калибровки, которая при данном подходе трансформируется в алгоритм обучения интеллектуального датчика. Соответственно, измерение состава

смеси и концентраций компонентов становится задачей распознавания образов, решение которой предполагает составление «карт запахов» – областей в шестимерном пространстве, характеризующихся набором из 6 точек на лепестковой диаграмме сенсорных сигналов, пересчитываемых по (3) в концентрации ВВ в смеси.

Задача определения концентрации по формуле (3) является обратной задачей регрессии, относящейся к классу некорректных по Тихонову [10]. Причем некорректность увеличивается с усложнением вида функции преобразования (1), которое необходимо для учета нелинейности функции преобразования и повышения воспроизводимости измерений. Поэтому для структурно-параметрической идентификации функции преобразования применялись регуляризованные алгоритмы [11], учитывающие при расчетах статистические свойства исходных данных. Также, для понижения фактора некорректности, операторы (4) синтезированы с применением математического аппарата нечеткой логики [12]. При этом используются лингвистические переменные типа: «Возможно наличие формальдегида», «Присутствует гексан 90 мг/м³», «Вероятна малая концентрация смеси азота диоксида и метана в соотношении: 0,25 мг/м³ NO₂ и 64 мг/м³ NH₄» и т.п.

Структура алгоритма интеллектуального датчика предполагает параллельный расчет концентраций каждого компонента по 6 каналам (всего 36 каналов обработки), однако, только блок логических операторов определяет по перекрестным корреляциям степень доверия показаниям определенного сенсора по конкретному компоненту. Последовательность проверки гипотез о наличии или отсутствии ВВ определяется исходя из начальных условий по соображениям максимальной вероятности наличия–отсутствия конкретного ВВ с постепенным сужением сектора неопределенности.

Апробация прибора на шестикомпонентных контрольных смесях показала удовлетворительное составление карт запахов с точным определением состава смеси. Представление результатов измерений концентраций компонентов выполняется в цифро-

вом формате с оценкой относительной погрешности. Результат измерения представлен как в виде числовой оценки концентраций компонентов, так и в виде лепестковых диаграмм распределений относительных концентраций, приведенных к одному ПДК.

В случае превышения ПДК компонента выдается предупреждающий сигнал: $C_i \geq \text{ПДК } C_i \rightarrow \langle \text{Сигнал «Превышение ПДК } i\text{-го компонента} \rangle$.

В процессе проведения испытаний многоканального ГАНК-4 на базе испытательной лаборатории НПО «Прибор» был осуществлен ряд конструктивных доработок, усовершенствована методика выполнения измерений и методика калибровки.

Список использованных источников

- 1 ОТТ 1.1.10-99. Часть 2. «Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Системы и комплексы (образцы) вооружения и военной техники. Общие требования по экологической безопасности (экологичности)».
- 2 ГОСТ В 20.39.108-85. КСОТТ.
- 3 ГОСТ Р 51206-2004 «Содержание загрязняющих веществ в воздухе пассажирского помещения и кабины».
- 4 ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 - ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 под общим заголовком «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений».
- 5 Патент на изобретение №2175779. «Способ диагностики предпожарной ситуации и предотвращения возникновения пожара». Патентообладатель: Ю.Н.Николаев. 10.11.2001 г., г. Москва.
- 6 Леман Э. Проверка статистических гипотез. – М.: Наука, 1964.
- 7 Долгополов Н.В., Яблоков М.Ю. "Электронный нос" – новое направление индустрии безопасности. // Мир и безопасность. 2007, № 4, С. 54–59.
- 8 Ганшин В.М., Чебышев А.В., Фесенко А.В. От обонятельных моделей к "электронному носу". Новые возможности параллельной аналитики. // Специальная техника, 1999, № 1–2.
- 9 Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979.
- 10 Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация. – М.: Наука, 1983.
- 11 Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002.
- 12 Е.Изотов, И.Афанасьев. Хроника полета экипажа МКС-12. // Новости космонавтики. Февраль 2006г., Том 16, №2 (277).

