

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

S.I. Lukash, O.K. Kolesnitskiy,
I.D. Vojtovich

METHOD AND TECHNOLOGY OF THE SMELL ANALYSIS OF OBJECTS FOR ENVIRONMENT AND MEDICAL DIAGNOSTIC

Control of environment, quality of air and food is one of major problems of safety of the human health. The applications of the device such as "electronic nose" for monitoring and analysis of objects of environment are shown.

Задача мониторинга окружающей среды, качество воздуха атмосферы и продуктов питания являются одной из важнейших задач и проблем охраны здоровья человека.

© С.И. Лукаш, О.К. Колесницкий,
И.Д. Войтович, 2006

УДК 681.3: 591.3

С.И. ЛУКАШ, О.К. КОЛЕСНИЦКИЙ, И.Д. ВОЙТОВИЧ

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПО ЗАПАХУ

Введение. Проблемы ранней и полной диагностики состояния здоровья человека и контроль концентрации вредных веществ в окружающем нас воздухе, способных вызвать патологические изменения, являются весьма актуальными в настоящее время.

Один из способов диагностики – анализ запахов. Устройство «электронный нос» разрабатывается в мире как универсальный детектор, который количественно определяет и характеризует все типы запахов. Здесь можно напомнить, что запах – это ощущения человека, которые возникают под влиянием ароматических веществ на рецепторы слизистой оболочки носа.

Запахи могут влиять как рефлекторные раздражители на деятельность органов дыхания, кровообращения, пищеварения, а также определенным образом – на настроение и чувства [1].

Аппаратная и программная реализация. По принятой терминологии "электронный нос" содержит в себе массив, или матрицу, из 3 и более неспецифических сенсоров с перекрестной чувствительностью. Это означает, что каждый сенсорный элемент имеет свой отклик на анализируемый объект, а все вместе они создают достаточно представительный его образ. Последовательный опрос показаний каждого сенсора даёт в результате гистограмму величин откликов (показаний) детекторов.

Аналоговые сигналы, поступающие с выходов датчиков, должны быть усилены и профильтрованы, чтобы их можно было пре-

образовать в цифровую форму. Встроенный микропроцессор обеспечивает аналого-цифровое преобразование и передачу первичных данных в компьютер. Программное обеспечение по установленному алгоритму определяет последовательность и содержание всех операций прохождения и обработки сигналов, а также их вывод и визуализацию в удобной для принятия решения форме. Анализ информационных сигналов осуществляется разработанной экспертной системой.

На рис. 1 показана схема газового оборудования и его коммутации. В измерительном объеме расположена матрица сенсоров, в аналитическом – накапливается исследуемый газ. Вентили V1-V4 служат для создания требуемой конфигурации системы.

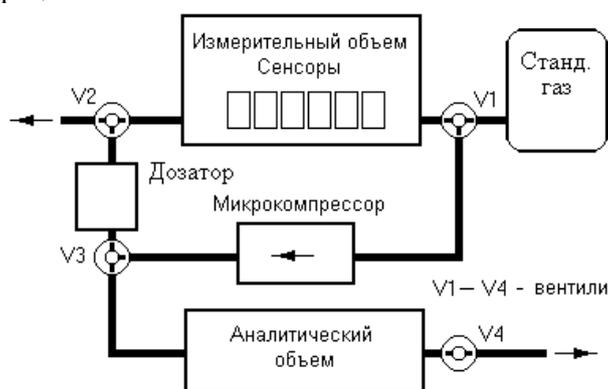


РИС. 1. Схема газового оборудования общего назначения

По принятой методике перед установкой образца все камеры и соединительные трубки в течение 5–10 минут промываются чистым воздухом (именно этот режим показан на рис. 1) и проводится калибровка датчиков в атмосфере референсного газа. Образцы размещаются в аналитическом объеме. Измерения выполняются после установления в системе состояния равновесия.

При необходимости используется дозатор. В предлагаемой работе использованы устройство фирмы «Jenasensoric» и мультисенсоры фирмы UST UMWELTSORORTECHNIK GmbH с тремя чувствительными слоями S_i ($i = 1, 2, 3$) в одном корпусе и встроенным подогревателем. Цикл измерений имеет 3 фазы: нагрев чувствительных слоев с одновременной записью информационных сигналов с заданной дискретностью по температуре; запись данных в файл; охлаждение слоев до заданной температуры T . Сопротивление газочувствительного слоя сенсора изменяется в зависимости от концентрации анализируемого газа [2]. Устройство позволяет изменять температуру в пределах от комнатной до 420 °С. Выбор длительности и количества циклов определяется условиями установления динамического равновесия между образцом и его испарениями, которые зависят от летучести содержащихся в образце газов и скорости их диффузии в закрытом объеме. Три чувствительных слоя мультисенсора селективны к разным газам и поэтому их отклики на исследуемую газовую смесь различны.

Время установления динамического равновесия определяется по зависимости сигнала S_i ($T = \text{const}$) от времени для контрольного образца.

Концентрация исследуемого газа может быть выражена в виде отношения (в %) его объема к общему объему газовой смеси или отношения парциального давления компонента к общему давлению в системе:

$$C_g = \frac{V_g}{V_o} \cdot 100\% = \frac{P_g}{P_o} \cdot 100\% ,$$

где $P_o = \sum_i P_{gi}$ – сумма парциальных давлений всех i газов, входящих в аналитическую смесь.

На информационный сигнал накладывается шум, который определяется выбранным методом измерений и качеством работы системы регистрации сигнала.

Пакет программного обеспечения состоит из программ обработки данных, расчетов, распознавания образов и вывода результатов. При этом использованы алгоритмы: управления работой блока питания сенсора; фильтрации и усреднения значений; аппроксимации экспериментальных точек; алгоритм, основанный на выборе уровня сигнала; определения концентрации; распознавания определенного газа.

Результаты.

Компоненты продуктов питания. “Электронный нос” может быть эффективно использован в пищевой промышленности для оценки свежести продукции, контроля качества и проверки качества входящих материалов, оптимизации работы биореакторов и сведения к минимуму вариаций продукции от партии к партии, мониторинга случайных или преднамеренных загрязнений или несоответствий торговой марке пищевой промышленной продукции.

Были исследованы пробы водного раствора 20- и 96 %-спирта и пробы промышленной продукции: 28 % наливки, 38 % водки, 40 % коньяка, 60 % ликера (рис. 2). В качестве информационного сигнала как признака для распознавания в этом случае использовали величину сигнала dS_{Si} , соответствующего максимальной концентрационной зависимости при фиксированной температуре. Этот признак автоматически выделяется экспертной программой по созданному алгоритму. Такой способ позволяет создать графический образ газа в n -мерном пространстве (рис. 3). Здесь $n = 5$ по числу использованных слоев сенсоров $S1...S5$.

Полученный многоугольник является образом в плоскости и может служить как один из способов распознавания. Вложенные многоугольники соответствуют разным концентрациям спирта (рис. 2) с учетом ароматизации продукта. Общее число ароматов, которые можно различить в процессе дегустации вина, составляет не одну сотню. Обычно при их описании пользуются аналогиями. Первичные и вторичные ароматы обычно бывают цветочные (жасмин, ирис, пион), фруктовые (малина, яблоко, банан), растительные (зеленая трава, мох, сырая земля), пряные (перец, гвоздика, имбирь). Третичные – бальзамические (смола, ладан, ваниль), животные (мясо, дичь, мех) и эмпирические или, иначе, гарные (сажа, горелый хлеб, жареный кофе).

Качество вина во многом определяется сложностью и силой его ароматов.

При использовании устройства для дегустации необходимо также предварительно провести его обучение на распознавание ароматов.

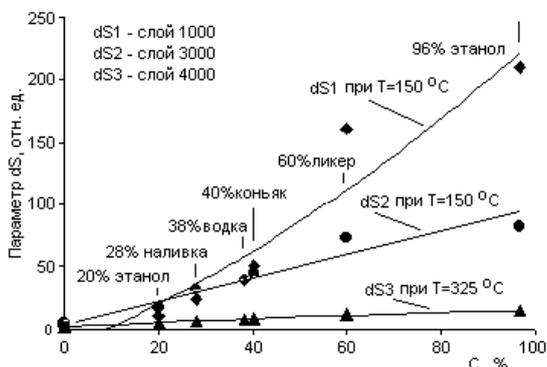


РИС. 2. Концентрационная зависимость информационных сигналов при фиксированной температуре нагрева

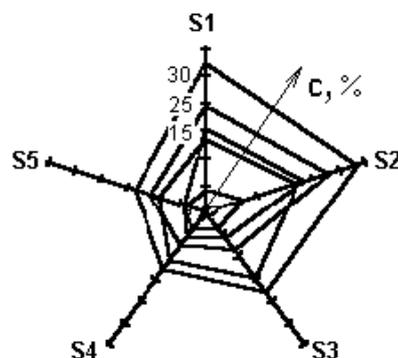


РИС. 3. 5-мерное представление признаков объектов – спиртосодержащих жидкостей

Качество продуктов питания. Другим не менее важным приложением устройств “электронный нос” является оценка свежести пищевой продукции, тем более что на сегодняшний день ни вкусовые, ни обонятельные тесты не решают данную задачу в требуемом объеме. Определение качества продуктов питания, их свежести – тоже одна из задач, которые могут быть решены с помощью подобных приборов.

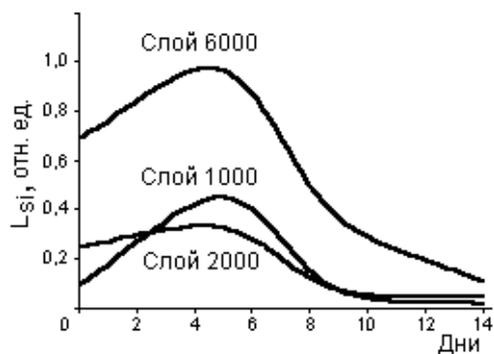


РИС. 4. Информационный сигнал запаха мяса при длительном хранении

Так, при использовании сенсора со слоями 1000/2000/6000 были получены изменения информационного сигнала от первоначально свежего мяса при его длительном хранении при температуре $+6^\circ\text{C}$ и влажности 60 % (рис. 4).

Парфюмерия и фармакология. “Электронный нос” работает в широком диапазоне концентраций паров и, благодаря применяемым сенсорам, может иметь чувствительность на уровне пикограмм вещества. Он способен распознавать и количественно характеризовать много различных и иногда очень сложных запахов. Это достигается с помощью технологии распознавания изображений, распознаванием образов запахов как графических отображений, которые полу-

Все три слоя зафиксировали нарастание сигнала к 5–6 дню хранения и его быстрый спад к 9 дню. К этому дню визуальная оценка состояния поверхности мяса показала наличие следов его порчи. Сенсоры обнаруживали газообразные продукты жизнедеятельности микроорганизмов и бактерий на поверхности мяса в течение времени хранения.

Таким образом, устройство пригодно для определения качества продуктов питания.

чаются от обработки информационных сигналов детектора. Каждый запах или летучая компонента содержит множество анализируемых компонентов с отчетливым соотношением друг с другом. Графический образ запаха позволяет оценивать и распознавать сложный окружающий фон как часть предварительно изученных наборов визуальных отображений запахов.

Алгоритмы распознавания графических образов для электронного носа основаны на дифференциальных наборах корреляций визуальных отпечатков известных веществ, полученных при анализе сложных смесей пахучих веществ. Задачей является поиск лучшего алгоритма распознавания визуальных образов.

Ценность применения устройств данного типа не только в объективизации органолептических оценок, но и в выборе новых перспективных ароматов, автоматизации формирования запаха с помощью генератора.

На рис. 5, а, б показаны 12-мерные образы запаха некоторых образцов мыла с ароматизаторами, построенные по вышеописанному способу. На осях, соответствующих определенным сенсорам, отложены признаки в категорийном представлении.

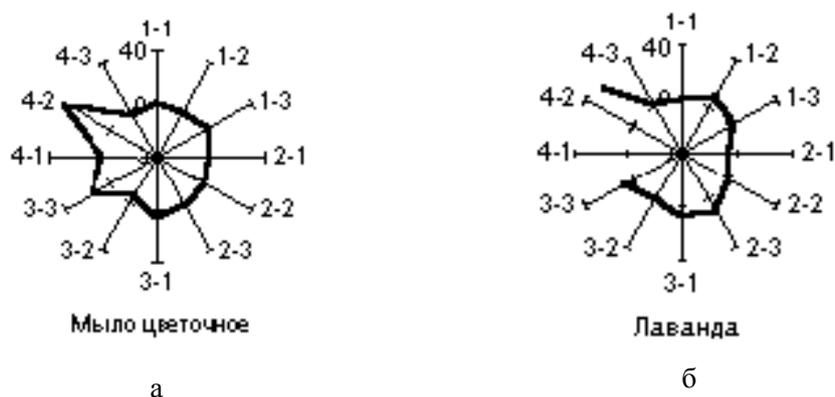


РИС. 5. 12-мерное представление аналитических объектов парфюмерии

В фармацевтической промышленности “электронный нос” призван обеспечить скрининг входящих компонентов для выпуска конечной продукции, обеспечения качественного контроля осуществления технологического процесса, а также обеспечения требований безопасности при хранении продукции.

Диагностика некоторых заболеваний по запаху. Индивидуальный запах выделений человека уже давно используется в классической медицине как важный диагностический признак. “Электронный нос” может, несомненно, оказать существенную помощь в обеспечении объективных и имеющих клиническую и криминалистическую значимость оценок таких объектов с характерным запахом, как выдыхаемый воздух, пот и пр. В клинических исследованиях крайне важной является экспресс-диагностика острых инфекций по качеству запаха выдыхаемого воздуха. Такая методика может быть основана на индивидуальных особенно-

стях запаха бактериальных культур, являющихся патогенными для человека, или при патологии метаболического процесса.

Специалисты технологического института Чикаго разработали устройство, позволяющее обнаруживать признаки имеющегося у больного туберкулеза в выдыхаемом им воздухе. Предварительные испытания "электронного носа" дали впечатляющие результаты, сообщает Reuters [3]. В устройстве размером с обычный компьютер применяются элементы искусственного интеллекта. В отличие от внутрикожного теста, для которого требуется три дня, "электронный нос" дает ответ за короткое время. Туберкулезные бактерии можно будет выявлять не только в воздухе, но и в мокроте. Быстрота анализа и дешевизна аппарата сделают его особенно полезным для развивающихся стран, где много больных туберкулезом.

Знания о протекании биохимических процессов в организме здорового человека и об их нарушениях при тех или иных заболеваниях открывают широкие возможности применения дыхательного теста для диагностики.

Дыхательной средой для человека является естественный чистый воздух атмосферы, состав которого по объему: азот – 78,08%, кислород – 20,95%, аргон – 0,93%, углекислый газ – 0,03%. Выдыхаемый воздух имеет повышенное содержание углекислого газа и водяных паров (см. табл.):

ТАБЛИЦА. Содержание V и парциальное давление P кислорода и углекислого газа в различных средах

Среда	Кислород			Углекислый газ		
	%	P_{O_2} мм рт. ст.	V_{O_2} мл/л	%	P_{CO_2} мм рт. ст.	V_{CO_2} мл/л
Вдыхаемый воздух	20,93	159	209,3	0,03	0,2	0,3
Выдыхаемый воздух	16,0	121	160,0	4,5	34	45

Гигиеническая оценка воздуха, в котором люди живут и работают, имеет очень важное значение, так как позволяет заметить отклонения от нормы и принять меры к их устранению. В жилых помещениях и общественных зданиях углекислый газ накапливается в большем количестве, так как выдыхаемый воздух содержит на 25% меньше кислорода и в 100 раз больше углекислоты, чем вдыхаемый. Таким образом, определяя содержание углекислого газа в воздухе, можно в известной степени судить об общем санитарном состоянии воздуха в данном помещении. Предельно допустимым содержанием углекислого газа в воздухе считается 0.1 объемный %. При более высоких концентрациях воздух считается недоброкачественным, так как в этих условиях могут наблюдаться неприятные субъективные ощущения (головная боль, чувство тяжести, духоты) и, следова-

тельно, снижение работоспособности. Высокое содержание углекислоты (4–5 %) может вызвать острое отравление организма вследствие накопления ее в крови и тканях (наркотическое и раздражающее действие на слизистые оболочки и кожу).

К выдыхаемому человеком воздуху добавляются газообразные продукты жизнедеятельности микроорганизмов и бактерий полости рта и кишечника, запахи, сопровождающие заболевания диабет, туберкулез и некоторые другие болезни.

Измерения могут быть произведены либо химическим, либо физическим методом и соответствующей аппаратурой. Несмотря на более высокую точность химических методов, более интенсивно используются физические методы, поскольку их реализация не вызывает особых затруднений.

В настоящее время разработаны неинвазивные методики диагностики экзокринной недостаточности поджелудочной железы, нарушений кинетики аминокислотного метаболизма и формирования белков. При использовании дыхательного теста контролируют энзимную функцию печени, активность окисления жирных кислот, время прохождения пищи через желудочно-кишечный тракт [4].

Один из методов диагностики заболевания по запаху заключается в измерении вида выделяемого газа в выдыхаемом воздухе и измерение его концентрации.

Информация и знания о протекании биохимических процессов в организме здорового человека и об их нарушениях при тех или иных заболеваниях открывают широкие возможности применения дыхательного теста для диагностики.

Ацетон как продукт метаболических процессов в организме постоянно присутствует в составе выдыхаемого воздуха на уровне 1–3 мг/м³. В норме у здоровых людей измеренная концентрация глюкозы в крови составляет 4–8 ммоль/л и коррелирующее значение концентрации ацетона в этом случае не превышает 3–5 мг/м³. У людей, болеющих сахарным диабетом с компенсированной кетонемией, концентрация ацетона может достигать 8–10 мг/м³.

Для выполнения непрерывного анализа необходимо, чтобы соответствующее оборудование было максимально приближено к пациенту, что достигается использованием аппаратуры и газовой системы, использованных в [5]. Измерения проводили как обучение системы при использовании паров ацетона в воздухе с концентрацией $C_1 = 0,05$ и $C_2 = 0,1$ об.%. Объем измерительного оборудования составил $1,5 \pm 0,1$ л. Методика работы описана в этой же работе.

На рис. 6 показан результат. Ход зависимости сигнала L_{Si} от двух слоев мультисенсора для указанных концентраций паров ацетона имеет нелинейный характер.

Таким образом, после проведения экспериментов по созданию обучающей выборки будет возможно использование оборудования для диагностики некоторых заболеваний.

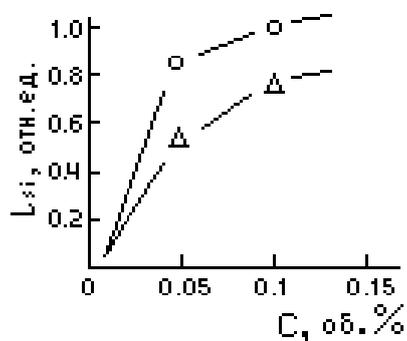


РИС. 6. Уровни сигнала при регистрации паров ацетона разной концентрации

Выводы. Рассмотрены конструкция первичного измерительного устройства, алгоритмы, модули программного обеспечения и принципы распознавания газов и запахов, а также технология обработки информационных сигналов с помощью искусственной нейросети. Предлагаемый прибор может быть использован во многих областях народного хозяйства.

Работа выполнена при поддержке фирмы «Jenasensoric». Авторы выражают благодарность Dr. Ahlers, Dr. Reish, W. Ring за оказанную помощь.

1. *Большая медицинская энциклопедия* / Гл. редактор А.Н. Бакулев. – М.: Госнаучиздательство «Большая советская энциклопедия». –1959. –10. –1151 с.
2. *Перспект* фирмы UST UMWELTSORTECHNIK GmbH, DBR, 1999. –14 с.
3. *США*: туберкулез определяется по запаху / <http://www.med2000.ru/news/200201.htm>
4. *Даниленко С.М.* Наиболее часто встречающиеся заболевания слизистой оболочки полости рта / http://www.consilium-medicum.com/media/provisor/01_06/9.shtml
5. *Лукаш С.И., Перетяцько В.Ю.* Компьютерная система определения ацетона в воздухе дыхания // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. Зб. наук. пр. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2004. – № 3. – С. 50–56.

Получено 2.03.2006