

А. Д. Меньшикова^{1}, Г. В. Симонова¹*

Спортивная и медицинская диагностика посредством анализа выдыхаемого воздуха газоанализатором HEALTHMONITOR

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: shtork00@inbox.ru

Аннотация. На сегодняшний день измерительные системы для определения качественного и количественного состава малых газовых примесей имеют важное значение в различных областях деятельности человека. Анализ состава выдыхаемого воздуха в последнее время все чаще используется как способ мониторинга состояний метаболизма при различных заболеваниях. Основными преимуществами данного метода является неинвазивность, безболезненность и простота в исполнении для пациента и исследователя. По данным литературы изучение образцов выдыхаемого воздуха различными методами показало корреляцию между концентрацией некоторых летучих органических соединений и определенными заболеваниями. Анализ рынка аппаратов для медицинской и спортивной диагностики показывает необходимость в коммерчески доступных и простых в эксплуатации устройств неинвазивного мониторинга состояния метаболизма. В статье рассмотрены методы газоанализа, которые могут быть использованы для данных целей. Показаны отличительные особенности и преимущества атомно-эмиссионной спектроскопии на примере газоанализатора HEALTHMONITOR.

Ключевые слова: газоанализ, атомно-эмиссионная спектроскопия, медицинская диагностика

A. D. Menshikova^{1}, G. V. Simonova¹*

Sports and Medical Diagnostics Through the Analysis of Exhaled Air By the Gas Analyzer HEALTHMONITOR

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: shtork00@inbox.ru

Abstract. To date, measuring systems for determining the qualitative and quantitative composition of small gas impurities are important in various fields of human activity. Analysis of the composition of exhaled air has recently increasingly used as a way to monitor metabolic conditions in various diseases. The main advantages of this method are non-invasiveness, painlessness and ease of execution for the patient and researcher. According to the literature, the study of exhaled air samples by various methods showed a correlation between the concentration of certain volatile organic compounds and certain diseases. Analysis of the market of devices for medical and sports diagnostics shows the need for commercially available and easy-to-use devices for noninvasive monitoring of metabolic conditions. The article discusses the methods of gas analysis that can be used for these purposes. The distinctive features of the atomic emission spectroscopy method presented on the example of the HEALTHMONITOR gas analyzer.

Keywords: gas analysis, atomic emission spectroscopy, medical diagnostics

Введение

Анализ человеческого дыхания – это новая и перспективная методика, так как позволяет эффективно контролировать биохимические процессы и неинвазивна, что делает технологию доступной и безопасной. В результате метаболических процессов в организме образуются летучие органические соединения. Эти вещества проходят через кровоток, участвуют в альвеолярном обмене и впоследствии появляются при выдохе.

В нормальных условиях концентрация определенных соединений в тканях или жидкостях человека определяется их ролью в метаболических процессах и, как правило, колеблется в небольших пределах. Однако при патологии метаболический профиль может резко измениться.

Контролируя эти показатели ежедневно/еженедельно, можно определить индивидуальную норму, идентифицировать проблемы в работе организма, отравления, вирусные или бактериальные инфекции и т. д.

Целью данной работы является поиск наиболее эффективного метода спортивной и медицинской диагностики.

Задачей данной работы является проведение сравнительного анализа существующих методов диагностики.

Анализ рынка аппаратов для медицинской и спортивной диагностики пациентов показывает необходимость в коммерчески доступных и простых в эксплуатации устройств неинвазивного мониторинга состояний метаболизма особенно при диабете, заболеваниях легких и желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). При инвазивном методе диагностики и мониторинга требуется ежедневный многократный забор капиллярной крови, что особенно проблематично при проведении такой манипуляции больным детям, либо необходимы болезненные эндоскопические процедуры (при заболеваниях легких и ЖКТ) [1]. Поэтому потребность в разработке новых, не инвазивных, дистанционных технологий детектирования следов биомаркеров с высокой экономической эффективностью и большим социально значимым эффектом является, несомненно, актуальной задачей.

HEALTHMONITOR – это высокотехнологичный газоанализатор, который позволяет определять перечисленные выше параметры и проанализировать летучие органические соединения, содержащиеся в выдыхаемом человеком воздухе [2], что позволит получить глубокое понимание состояния различных биохимических процессов в организме человека.

Основные принципы работы газоанализатора HEALTHMONITOR

В основе созданного газоанализатора лежит хорошо известный физический принцип: спектр каждого химического соединения уникален и имеет свои индивидуальные интенсивные характеристические линии.

В основе лежит оригинальная технология эмиссионной спектроскопии, использующая излучения тлеющего разряда. Данная технология является уникальной и не имеет аналогов в мире. Способ детектирования малых примесей атомов и молекул в воздухе или газовой пробе основан на спектральном анализе линий

высокочастотного емкостного тлеющего разряда при пониженном давлении с нормировкой на спектр эмиссии опорной пробы для выделения спектральных групп пиков и полос, характерных для примесных компонентов [2].

Использование данной технологии обеспечивает возможность определения качественного и количественного состава малых газовых примесей в воздухе в режиме реального времени, а также проводить непрерывную фиксацию и анализ газовой пробы с высокой точностью и чувствительностью измерения.

Поскольку измерения примесей в пробе производятся с использованием эмиссионного излучения, становится ненужным использование многопроходных ячеек поглощения пробного лазерного излучения. Кроме того, высокая селективность предложенного метода сочетается с широким спектральным диапазоном детектируемых спектров, которые охватывают практически все газообразные примеси в анализируемой пробе [3]. Регистрация эмиссионного спектра газовой примеси происходит на «нулевом световом фоне» в отличие от регистрации спектра поглощения этой примеси, которая производится в условиях сильной засветки фотоприемника пробным лазерным излучением. Это позволяет достичь большего соотношения сигнал/шум, чем в случае с использованием спектроскопии поглощения пробного лазерного излучения [4].

Устройство для реализации заявленной технологии состоит из разрядной трубки с высокочастотным емкостным генератором тлеющего разряда в условиях низкого давления в сочетании со спектрометром видимого диапазона волн с возможностью расшифровки и интерпретации спектров [5].

Пробоотборная часть также включает стеклянный капилляр, производимый компанией [5], который обеспечивает понижение давления воздуха в разрядной ячейке до крайне малых значений в диапазоне от 40 Па до 94 Па. Новизна применяемого капилляра в совокупности с возможностями снятия спектра раз в миллисекунду позволяет использовать капилляр как аналог дорогостоящей полимерной разделительной колонки.

Дополнительную очистку системы осуществляет встроенный насос, который обеспечивает удаление остатков воздуха от предыдущего теста из патрубков системы, не допуская его застоя. Помимо насоса откачки, третью ступень очистки обеспечивают ультрафиолетовые светодиоды, захватывающие пробоотборную зону газоанализатора, где отсутствует самоочищающийся тлеющий разряд. Управление системами газоанализатора производится микроконтроллером [6, 7].

Новизна представленного решения заключается не только в аппаратном комплексе, но и способе анализа данных.

Полученные спектрограммы газовой смеси подвергаются не только классическому спектральному анализу, но и анализу с использованием нейросетевых технологий. Использование нейросетевого анализа было включено в общий процесс аналитики для расширения возможностей газоанализатора и ускорения исследовательского процесса. В настоящее время использование нейросетей является достаточно тривиальной задачей, например, они широко используются для целей идентификации личности. В созданном газоанализаторе нейросе-

твые алгоритмы используются для анализа газовых примесей (химических соединений) в анализируемых пробах (выдох человека, проба газовой смеси из какого-либо промышленного технологического процесса и пр.). Использование нейросетевых алгоритмов позволяет анализировать не только наличие конкретных газовых соединений в анализируемой пробе, но и получать и анализировать общий “рисунок” спектра. Ниже представлены спектры органических соединений бутана и ацетона (по вертикали определяется интенсивность свечения спектра, по горизонтали длина волны), зафиксированных на газоанализаторе HEALTHMONITOR (рис. 1).

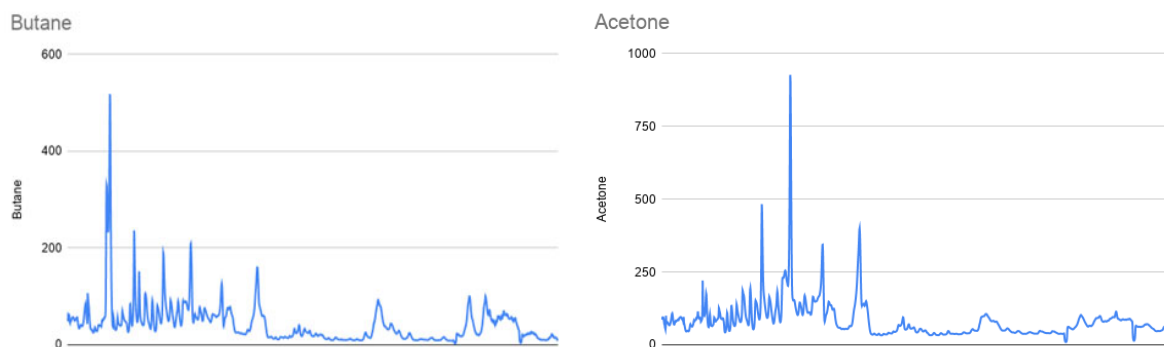


Рис. 1. Спектры органических классов веществ

Анализ существующих методов

Все существующие сопоставимые методы газоанализа, в основном, можно разделить на три группы:

Электрохимические методы, основанные на отличии степени адсорбции различных газов к поверхности микрочипа. Данный тип газоанализаторов широко распространен в силу своей относительно невысокой стоимости, однако имеет существенные ограничения, поскольку: не является универсальным, датчики производятся для одного выбранного газа (один газ - один датчик); теряют чувствительность и селективность в процессе эксплуатации требуется постоянная замена датчиков, являющихся, по сути, расходным материалом, и их калибровка [8, 9].

Методы, основанные на измерении отношения массы к заряду ионов детектируемых веществ или отличии их диффузионных свойств. Эта группа методов включает в себя: масс-спектрометрию, газовую хроматографию, масс-спектрометрию, совмещенную с газохроматографическим разделением. Недостатками технических решений, реализующих указанные методы, являются: высокая стоимость, необходимость использования сложного и громоздкого оборудования; необходимость наличия больших объемов сверхчистых газов-носителей в сменяемых баллонах высокого давления; техническая сложность реализации в конкретных изделиях; высокие требования к квалификации операторов, работающих на данном оборудовании. Кроме того, как правило, процесс измерения занимает достаточно много времени в связи с необходимостью сбора газовой

пробы (образцов), их транспортировкой, хранением и подготовкой к анализу. В качестве еще одного недостатка можно указать отсутствие мобильности у оборудования данных типов, поэтому приходится осуществлять пробоотбор на месте и транспортировать пробы в стационарную лабораторию [10, 11].

Методы, основанные на различии спектров поглощения исследуемых газов от спектров воздуха. Известны технические решения с использованием спектров поглощения: фотоакустическая спектроскопия; диодно-лазерная спектроскопия поглощения. Недостатком этих достаточно известных технических решений является использование в их конструкции дорогих лазерных источников света, состоящих из лазеров накачки или перестраиваемых в широком спектральном диапазоне диодных лазеров и громоздких многопроходных ячеек поглощения. Зачастую, эти методы требуют использования криогенных температур, необходимых для функционирования источников излучения или детекторов. В случае использования спектроскопии поглощения, большое количество паров воды, повсеместно присутствующих при заборе газовой пробы, оказывает негативное влияние на чувствительность и точность измерений, поскольку газопроектирование многопроходных ячеек поглощения резко снижается вследствие конденсации паров на оптических окнах. Использование нагреваемых ячеек неудобно в практике и требует большого расхода электроэнергии. Кроме того, большое количество линий воды в регистрируемых спектрах представляет серьезную проблему для их расшифровки и корректной интерпретации [12, 13].

На основе проведенного анализа были сделаны выводы о преимуществе применяемой в газоанализаторах HEALTHMONITOR эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда по сравнению с другими выше перечисленными методами, заключающемся в том, что не требуется применение сверхвысокого вакуума и криогенных температур. К тому же эмиссионная спектроскопия в видимом диапазоне длин волн малочувствительна к наличию паров воды в анализируемой пробе в силу отсутствия сильных линий воды в этом диапазоне и имеет высокую спектральную селективность и универсальность.

Заключение

HEALTHMONITOR предлагает простые и дешевые решения на основе использования свечения слаботочного газового разряда в рабочей прокачиваемой ячейке с воздухом и молекулами биомаркеров, что позволяет с высокой точностью идентифицировать газовый состав среды, в которой происходит разряд, по известным спектральным базам.

Метод прост в реализации, не нуждается в использовании газа носителя, не требует дорогих расходных материалов и допускает создание компактных устройств, пригодных, в том числе для применения в домашних условиях.

Газоанализатор соответствует уровню технического развития нашей страны, что делает возможным реализацию производства на базе отечественных промышленных мощностей.

В рамках данной работы планируются дальнейшие исследования использования спектроскопии тлеющего разряда в воздухе в видимом диапазоне спектра

для медицинской и спортивной диагностики, а также организация серийного производства газоанализатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Анализ рынка «Спорт и здоровье 2.0» // HealthNet: [сайт]. – URL: <https://healthnet.academpark.com/media/analitika/analiz-rynka-sport-i-zdorove-2-0/> (дата обращения: 13.04.2023)

2 Способ хроматографического анализа смесей веществ и газовый хроматограф : пат. 2018821 С1 Рос. Федерация, МПК G01N 30/40. № 5007268/25 ; заявл. 02.10.1991 ; опубл. 30.08.1994 / В. Г. Березкин, А. Б. Урин, Е. Ю. Сорокина [и др.]. – EDN FCVDHX (дата обращения: 13.04.2023)

3 Способ выполнения анализа газовых смесей : пат. 2470290 С1 Рос. Федерация, МПК G01N 30/00. № 2011119457/28 ; заявл. 13.05.2011 ; опубл. 20.12.2012 / А. М. Хисматулина, О. Ф. Верещагина, Е. В. Коровицкая [и др.]; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДФУ). – EDN UVNWMM (дата обращения: 13.04.2023)

4 Лебедев, А. Т. Масс-спектрометрия в органической химии : учебное пособие / А. Т. Лебедев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Техносфера, 2015. – 704 с. – ISBN 978-5-94836-409-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/110953> (дата обращения: 24.11.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей

5 Мотт, Ж. Хроматографические методы анализа смесей / Ж. Мотт, М. Тэйлор // Нефтегазовые технологии. – 2008. – № 7. – С. 78–80. – EDN KWEOCH (дата обращения: 13.04.2023)

6 ГОСТ 30324.0-95. Изделия медицинские электрические. – М. : Стандартинформ, 2009. – 140 с. – Текст : непосредственный.

7 ГОСТ Р 50444. Приборы, аппараты и оборудование медицинские. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ, 2020. – 28 с. – Текст : непосредственный.

8 Способ хроматографического анализа газовых смесей: а. с. 181375 А1 СССР, МПК G01N 30/34. № 1004230/26-25 / Л. А. Галкин, С. М. Гуревич ; заявл. 21.04.1965 ; опубл. 15.04.1966. – EDN TKOCRR (дата обращения: 13.04.2023)

9 Жебентяев, А. И. Аналитическая химия. Хроматографические методы анализа : учебное пособие / А. И. Жебентяев. – Минск : Новое знание, 2013. – 206 с. – ISBN 978-985-475-553-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/64909> (дата обращения: 24.03.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей

10 Вялых, И. А. Автоматический газовый хроматографический анализ: теоретические основы и аппаратное оформление : учебное пособие / И. А. Вялых, А. Г. Шумихин. – Пермь : ПНИПУ, [б. г.]. – Ч. 1. – 2008. – 290 с. – ISBN 9789-5-88151-971-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/160936> (дата обращения: 24.03.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей;

11 Гуськова, В. П. Хроматографические методы разделения и анализа : учебное пособие / В. П. Гуськова, Л. С. Сизова. – 2-е изд., испр. и доп. – Кемерово : КемГУ, 2015. – 148 с. – ISBN 978-5-89289-888-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/72028> (дата обращения: 24.03.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей

12 Конюхов, В. Ю. Хроматография : учебник / В. Ю. Конюхов. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 224 с. – ISBN 978-5-8114-1333-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/210989> (дата обращения: 24.03.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей

13 Краснокутская, Е. А. Спектральные методы исследования в органической химии : учебное пособие / Е. А. Краснокутская, В. Д. Филимонов. – Томск : ТПУ, [б. г.]. – Часть II : ЯМР-спектроскопия, масс-спектрометрия. – 2013. – 88 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/45172> (дата обращения: 24.03.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей

© А. Д. Меньшикова, Г. В. Симонова, 2023