

Биомедицинские приборы и системы

УДК 535.34:621.373.826:611.814.1:615.84

В.И. Зубчук, канд. техн. наук, В.Ф. Сташкевич, В.С. Якимчук

Экспресс-диагностика на основе селективных газоанализаторов

Разработано устройство «Электронный нос» на основе селективных амперометрических газовых сенсоров. Произведены измерения состава вдыхаемого и выдыхаемого человеком воздуха с целью решения задачи экспресс-диагностики. Оценена чувствительность серийных селективных сенсоров для использования в системе «Электронный нос». Рассмотрены возможности средств LabVIEW для создания виртуально устройства «Электронный нос».

The “Electronic Nose” device, based on selective amperometric gas sensors, was elaborated. In order to solve the tasks of express-diagnostic measuring of structure of air, inspired and expired by a man, were produced. Sensitiveness of serial selective sensors was investigated in order to be applied in “E-Nose” system. Advantages of LabVIEW were considered to support “E-Nose” virtual device creation process.

Введение

Экспресс-диагностика функционального состояния человека и выявление отклонений диагностических показателей от нормы является важным направлением разработки методов и средств медицинской техники. Исследования и разработки по созданию неинвазивных и быстрых способов диагностики состояния человека, выявления заболеваний на ранних стадиях их развития остается актуальной задачей, поскольку эффективность лечения многих заболеваний человека зависит от своевременного выявления отклонения физиологических показателей от нормы в доклинической фазе. Этим обусловлена необходимость контролировать достаточный набор физиологических параметров человека в состоянии здоровья. Следовательно, для реализации такого подхода нужно определить необходимый и достаточный набор контролируемых параметров, разработать методы и средства их контроля. Такие системы должны отвечать требованиям: объективность, оперативность, неинвазивность, дешевизна, высокая чувствительность и отсутствие воздействия на обследуемого.

Перечисленным требованиям по замыслу разработчиков должно удовлетворять устрой-

ство типа «Электронный нос» (ЭН). Известны экспериментальные применения узко специализированных устройств такого типа для диагностики респираторных инфекций и онкологических заболеваний, идентификации личности по индивидуальному запаху [1], контроля экологической ситуации, скрининга пищевых продуктов [2] и лекарственных препаратов [3]. Однако, остается актуальной задача обеспечения широкого применения ЭН для целей мониторинга и экспресс-диагностики состояния человека в процессе здоровья и при наличии патологических отклонений. Поскольку многие патологические отклонения в организме так или иначе связаны со специфическими биохимическими реакциями, соответствующими изменениями состава крови и продуктов метаболизма, одним из которых является выдыхаемый человеком воздух, анализ состава газовых компонентов должен дать информацию о нормальном состоянии либо о наличии, виде и стадии заболевания. Важнейшей из задач, которые необходимо решить при создании устройств типа ЭН, является выбор необходимого и достаточного количества селективных сенсоров для заданной области применений.

В общем случае в состав устройства ЭН входит набор селективных сенсоров, которые через усилители, программно управляемый аналоговый мультиплексор и аналого-цифровой преобразователь подключаются к компьютеру для формирования базы данных с результатами измерений и сопровождающей информации. Технические параметры ЭН прямо зависят от параметров селективных сенсоров, поэтому выбор типа, количества и параметров чувствительности сенсоров является важным этапом в проектировании таких устройств. Оптимизация структуры и параметров компонентов устройства, отработка алгоритма обработки и визуализации результатов измерений может быть эффективно реализована в среде LabVIEW.

Реализация экспериментальной системы и результаты

На рис.1 представлена принципиальная схема одного канала усилителя сигнала, поступающего от датчика – амперометрического се-

лективного газоанализатора. В зависимости от типа идентифицируемого газового компонента, такие датчики выполнены по двух- или трёх-электродной схеме [4]. Соответственно, они имеют различные наборы электродов для подключения к электронной схеме, обеспечивающей номинальные режимы работы сенсоров, съём и усиление электрического сигнала, пропорционального концентрации газового компонента. Для трехэлектродного сенсора это измерительный электрод HE, вспомогательный электрод DE и электрод сравнения EP. В двухэлектродных сенсорах отсутствует электрод сравнения EP.

Приведенная на рис.1 схема обеспечивает возможность подключения как двух-, так и трёх-электродных сенсоров. Операционный усилитель DA1 имеет минимальное входное сопротивление и обеспечивает преобразование выходного тока электрода HE в выходное напряжение с коэффициентами преобразования $K_r = 1; 0.1; 0.01$ [В/мкА]. Коэффициент передачи устанавливается в зависимости от чувствительности сенсора подключением резистора R1, R2 или R3 в цепи обратной связи.

Конденсатор C3 обеспечивает фильтрацию собственных шумов сенсоров и внешних помех на частотах $f_v \geq 10$ Гц. На вход DA1 через резистор R4 подается напряжение со входа KOR для компенсации «темнового» тока сенсора,

соответствующего нулевой концентрации газового компонента.

Операционный усилитель DA2 предназначен для поддержания постоянного напряжения между электродом сравнения EP и вспомогательным электродом DE, которое определяется напряжением смещения, подаваемым на вход SM. В случае двухэлектродных сенсоров усилитель DA2 обеспечивает необходимое постоянное смещение на вспомогательном электроде DE. Светодиод D1 индицирует режим измерения выходного сигнала данного канала. В паузах между измерениями электроды сенсора HE и EP закорачиваются контактами реле RL1.

Предложенные компанией National Instruments средства графического программирования LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) – это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования. Ее можно использовать как систему сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами, т.е. она является виртуальным прибором.

Достоинство среды LabVIEW состоит в том, что она поддерживает широкий спектр типов оборудования различных производителей и имеет в своём составе многочисленные библиотеки компонентов:

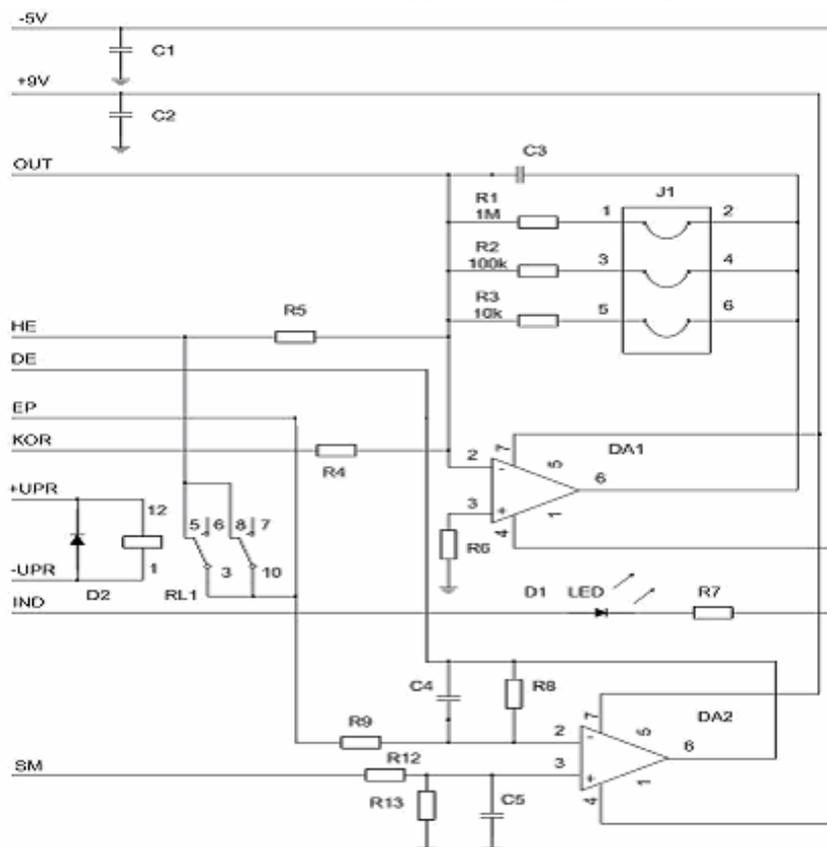


Рис. 1. Принципиальная схема одного канала усилителя сигнала

- для подключения внешнего оборудования по наиболее распространённым интерфейсам и протоколам (RS-232, USB, TCP/IP);
- для удалённого управления ходом эксперимента;
- для генерации и цифровой обработки сигналов;
- для применения разнообразных математических методов обработки данных;
- для визуализации данных и результатов их обработки;
- для моделирования сложных систем;
- для хранения информации в базах данных и генерации отчетов.

Благодаря этому с помощью LabVIEW можно создавать программы обработки и анализа данных, получаемых от реальных физических объектов. Принципиально нет разницы между использованием виртуальных инструментов, которые осуществляют ввод/вывод реальных или виртуальных сигналов. Это позволяет создавать программы, которые обеспечивают ввод и обработку нескольких входов на плату аналого-цифрового преобразователя, подключенного к компьютеру через порт USB. Таким образом, электрические сигналы сенсоров, пропорциональные концентрациям соответствующих компонентов исследуемой газовой смеси, после усиления и фильтрации поступают на физический аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и после него через USB-порт – в компьютер для запоминания, обработки, распознавания (классификации) и отображения на экране монитора компьютера в виде графиков и/или таблиц. В среде LabVIEW обеспечивается возможность быстрее и легче анализировать входные сигналы, строить графики, систематически отслеживать закономерности.

Для обработки и классификации получаемых, при обследовании, данных может использоваться среда программирования LabVIEW. В данном случае из предлагаемого ассортимента устройств сбора данных выбраны устройства на базе технологии USB.

Приборы сбора данных NI являются гибкими в настройке и управлении, хорошо зарекомендовавшими себя в широком спектре приложений (системы сбора и обработки данных NI DAQPad-6016 / NI DAQPad-6015, учебные лаборатории).

Для преобразования данных измерений, представленных выходными напряжениями операционных усилителей, с погрешностью 0.1% могут быть использованы любые АЦП, которые отличаются по типу сопряжения с компьютером, количеством входных каналов, частотой преобразования и другими характеристиками. Для реализации и проверки работоспособности системы ЭН удобно воспользоваться АЦП фирмы National Instruments (NI), которая является разработчиком LabVIEW [5].

Экспериментально работоспособность описанной системы проверена на двух обследуемых разного пола и возраста (А и Б). Результаты измерений приведены в таблице 1, где приняты следующие обозначения: ГК – газовый компонент; ПВ – проба воздуха, выдыхаемого обследуемым; ПВП – проба воздуха, выдыхаемого обследуемым после задержки выдоха на 60 сек.; ИК – изменение концентрации газовых компонентов воздуха, выдыхаемого обследуемым; ММ – масштабный множитель, характеризующий чувствительность селективных сенсоров. В таблице 1 приведены значения выходного напряжения усилителей соответствующих каналов для сенсоров, установленных в прободоборнике.

Приведенные значения характеризуют относительное изменение газового состава выдыхаемого воздуха по сравнению с вдыхаемым, которые с учетом практически линейной зависимости тока сенсоров от концентрации соответствующего компонента могут быть пересчитаны в значения концентраций. При этом положительные значения соответствуют генерации либо увеличению концентрации газовых компонентов, а отрицательные – поглощению их организмом.

Таблица 1 – Данные измерений

ГК	ПВ [В]	ПВП А [В]	ИК А [В]	ПВП Б [В]	ИК Б [В]	ММ [В/мкА]
O ₂	-0,25	-1,05	-0,8	-4,11	-3,86	10 ⁴
NO ₂	0,56	5,48	4,92	8,23	7,67	10 ⁵
NH ₃	-1,15	-4,30	-3,15	-4,30	-3,15	10 ⁶
Cl ₂	-2,00	-1,99	0,01	-1,92	0,08	10 ⁶
H ₂ S	-0,36	-0,36	0,00	-0,41	-0,05	10 ⁶
SO ₂	-0,04	0,00	0,04	-0,08	-0,04	10 ⁶
CO	-0,15	-0,07	0,08	-0,12	0,03	10 ⁶

Выводы

Из сопоставленных данных, приведенных в таблице 1, для измеренных параметров выдыхаемого воздуха и проб обследуемых А и Б можно заключить, что чувствительность селективных газоанализаторов, разработанных на кафедре электрохимии химико-технологического факультета НТУУ «КПИ» [4], достаточна для построения систем экспресс-диагностики типа ЭН. А также, что отработка системы экспресс-диагностики в среде LabVIEW позволяет просто проверять работоспособность и определить параметры разрабатываемых технических устройств.

Литература

1. *N. Challa*. "Real-time and secure wireless health monitoring". International Journal of Telemedicine and Applications, 2008.
2. *D. Hodgins*. "The electronic nose and its application to the manufacture of food products". Journal of Automatic Chemistry, 1995.
3. *S. Schiffman*. "Analysis of medication off-odors using an electronic nose". Oxford University Press, 1997.
4. *Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С.* Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. / Видавничий дім "Академперіодика" НАНУ. Київ, 2007. – 320
5. <http://digital.ni.com/worldwide/russia.nsf/web/all/F5AC90C3AF44162F862571E30026C2F4>