РАЗДЕЛ VI. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ананьев А.В., Терехова Ю.В.

Обоснование выбора аппаратной базы и программной архитектуры для анализа потребления кислорода в выдыхаемом воздухе

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/trnio-09-2021-12

Аннотация

В статье рассмотрены основные варианты исполнения датчиков кислорода относительно применения для анализа выдыхаемого воздуха, а также описан подбор средств отладки и программной разработки аппаратно-программного комплекса для проведения научных исследований с их применением.

Ключевые слова: программная архитектура, регистрация кислорода, разработка электроники, газоанализатор кислорода.

Abstract

The article considers the main versions of oxygen sensors for use for the analysis of exhaled air, and also describes the selection of debugging tools and software development of a hardware and software complex for conducting scientific research with their use.

Keywords: software architecture, oxygen registration, electronics development, oxygen gas analyzer.

В настоящее время существует достаточное количество решений для анализа и регистрации физиологических показателей человека, в частности потребления кислорода, определения работоспособности и основного обмена веществ. Вместе с тем, существующие на рынке решения представляют собой лабораторные комплексы, малоприспособленные для выездных исследований или полевых условий, или не предоставляют достоверные данные, либо узкоспециализированы и дороги для развертывания.

Однако, для получения достоверной информации по данным показателям подчас важно получать информацию в режиме реального времени, непосредственно в исследуемых условиях. Например, при исследовании поглощения кислорода шахтером в забое необходимо это делать именно в забое, вдали от источников энергии, самих исследователей и лабораторий. При этом, не каждый специалист и не в каждом случае может находиться рядом с испытуемым для обеспечения технической части эксперимента, например в космосе, батискафе или высокогорье в силу объективных или субъективных причин [1].

Одновременно, компактность и доступность оборудования для таких испытаний находятся в прямой зависимости от его себестоимости и сложности. Кроме того, текущая обстановка диктует необходимость контроля над инфекционной безопасностью проведения опытов, обеспечением импортозамещения и доступности по финансовым показателям. Именно поэтому нами была начата разработка мобильного аппаратно-программного комплекса для индивидуального анализа потребления кислорода и основного обмена, решающего вышеозначенные задачи. Рабочее название разработки «Оксиум-01».

Для опосредованного изучения биохимических процессов человека и животных необходимо оборудование с особыми характеристиками. При этом, для каждого конкретного исследования возможно использование разнообразных экспериментальных моделей и параметров микросреды. Кроме того, важно присутствие в экспериментальном стенде особого объекта исследования – живого организма, что само по себе предъявляет особые требования к такой системе [2]. Именно поэтому, выбор подходящего газового анализатора для проведения проточной респирометрии является первоочередной задачей при проектировании экспериментальной системы. Для принятия решения по использованию

конкретной модели газового анализатора необходимо предварительный анализ физических принципов его работы и соответствующих вариантов использования. От этого будет зависеть архитектура и конкретная реализация опытного комплекса, соответствующие задачам исследования.

При анализе состава выдыхаемого воздуха выдвигаются следующие требования к газовому анализатору:

- низкая погрешность измерений ($\pm 1,0$ об. % кислорода);
- надежность аппаратной части, которая находится в агрессивной среде, содержащей биохимические продукты выделения живых организмов;
- низкая инерционность показаний датчиков, что связано с ограниченным временем фазы выдоха;
- независимость показаний от других параметров микросреды (давления, температуры, pH);
- высокая селективность анализа компонентов воздушной смеси;
- безопасность оборудования по пожароопасности, электрической опасности, взрывоопасности (особенно, в условиях высоких концентраций кислорода);
- доступная для пользователя калибровка показаний датчиков и настройка системы в целом;
- стойкость к воздействию механических факторов, что связано с присутствием в системе живого организма в условиях физиологического стресса при изменяющихся условиях микросреды [3].

Для системы в целом нами были определены системные требования: масштабируемость, кроссплатформенность, дружелюбный пользовательский интерфейс, простое и быстрое развертывание системы.

В общем виде архитектура программной части комплекса представлена на диаграмме программной архитектуры. Согласно предложенной концепции, контроллер и датчики являются внешними устройствами. За взаимодействие с этими узлами отвечает подсистема управления оборудованием. За счет этого достигается универсальность и масштабируемость системы в будущем. Вместе с этим, к подсистеме взаимодействия с оборудованием предъявляются дополнительные требования в виде возможности подключения других типов и моделей внешних аппаратных узлов (датчики, контроллеры, приводы). В общем виде архитектура программной части комплекса представлена на диаграмме (рисунок 1).

Рисунок 1. Программная архитектура системы

Наиболее эффективно данную архитектуру можно реализовать на объектно-ориентированных языках программирования, таких как Python, Си-потомках, Java. Языки программирования Python и Java во всей полноте способны предоставить разработчику возможность реализации описанных нами выше системных требований. На данный момент разработка ведется на языке Python 3.8, однако имеются мотивированные сомнения в достижении достаточного уровня кроссплатформенности и простоты развертки приложения на данном языке [4]. Лишен этого недостатка язык программирования Java, предоставляющий возможность компиляции без внесения изменений кода в выполняемые файлы для большинства операционных систем [5]. Поэтому после тестирования оборудования разрабатываемой системы возможен перенос программного обеспечения на этот язык.

В настоящее время для анализа содержания кислорода в газовой смеси могут быть использованы анализаторы, функционирующие по следующим принципам: парамагнитные анализаторы, анализаторы на базе оксида циркония, электрохимические анализаторы.

Парамагнитный датчик кислорода является термомагнитным газоанализатором. За счет движения воздушной смеси в неоднородном магнитном и тепловом полях меняется объемные магнитные восприимчивости содержащихся в ней газов [6]. По этим изменениям датчик устанавливает выходной сигнал. Благодаря значительному отличию магнитной восприимчивости кислорода от восприимчивости других газов не требуется предварительного удаления неопределяемых компонентов. При этом предел приведенной погрешности зависит от диапазона измерения и находится в пределах от ± 2 до $\pm 10\%$ нормирующего значения. Кроме того, датчики данного типа очень чувствительны как к содержанию водяных паров в газовом потоке, так и к его скорости и температуре. Это делает их использование в исследовательской деятельности с участием объектов исследования – человека и животных, не смотря на высокую скорость измерений и неограниченный срок службы, затруднительным за счет увеличения количества дополнительных технологических узлов (например, добавления камеры для осушки воздуха) [7].

Принцип действия датчика кислорода на базе оксида циркония основан на нагревании сенсора до температуры около 700°C . В данном температурном диапазоне диоксид циркония становится кислород-ионным проводником [8]. В результате между электродами сенсора возникает электрический ток в кислород-ионной среде при наличии на них напряжения. Выходной сигнал такого датчика пропорционален концентрации кислорода в воздушной смеси. Пределы допускаемой основной относительной погрешности в зависимости от концентрации кислорода составляют от ± 3 до $\pm 10\%$. при этом наличие в газовой смеси летучих органических веществ и водяных паров приводит к ошибке измерений. Учитывая, что живые организмы выдыхают воздух с достаточно высокими концентрациями водяных паров, применение таких датчиков в биологических экспериментах затруднено необходимостью осушки анализируемой смеси, что усложняет систему [7].

В основе работы электрохимических датчиков кислорода лежит взаимодействие кислорода с электролитом сенсора, в результате чего происходит восстановление кислорода на катоде с расходом анода [9]. Возникает электрический ток, пропорциональный содержанию кислорода в воздушной смеси. За счет расхода анода срок службы таких датчиков ограничен 5-15 годами, особенно в условиях непрерывных измерений. Основная погрешность составляет 0.3% объемной концентрации кислорода. Бесспорным плюсом является низкая чувствительность сенсора к примесям. Однако, электрохимические анализаторы кислорода чувствительны к изменению температуры и при $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$ измеряемые значения меняются на $3\%-6\%$ [10]. Поэтому для исследований необходимо поддерживать температурный режим микросреды с калибровкой датчика при заданных условиях.

Таким образом, для анализа содержания кислорода в условиях агрессивной среды биологической системы наиболее пригодным является датчик, основанный на электрохимическом принципе. Его достоинство состоит в том, что датчик не подвержен влиянию примесей в воздухе. Необходимостью поддержания постоянной температуры в

микросреде экспериментального стенда для получения достоверных результатов измерений как недостатком можно пренебречь, так как данная необходимость возникает также и из особенностей, связанных с присутствием в системе живого организма, императивно требующего постоянства температуры микросреды. Калибровка датчика осуществляется с помощью эталонных объемов кислорода или автоматически за счет встроенной в современные реализации микросхемы. Нами для разработки аппаратно-программного комплекса был выбран отечественный газоанализатор электрохимического преобразователя концентрации кислорода Оксик-15 с ценовым диапазоном от пяти до десяти тысяч рублей, что является хорошим соотношением цены/точности [10].

Для обеспечения передачи данных от датчика в электронно-вычислительную машину (ЭВМ) в качестве контроллера изначально был выбран программируемый аналого-цифровой преобразователь линейки ARDUINO. Как показали в своей работе Стычев С.Н., Краснопевцева Н.А. [7], данная платформа имеет достаточную надежность и достоверность результатов измерений, что применимо для физических экспериментов высокой точности и интенсивности. При этом данная платформа обладает хорошей масштабируемостью, совместимостью, технической поддержкой. Разработка и тестирование оборудования и программного обеспечения с использованием платформы Arduino максимально легки, что позволяет разработчику сосредоточиться непосредственно на повышении точности, эффективности и удобства применения системы в целом [11, 12]. На рисунке ниже (рисунок 2) представлена примерная схема подключения внешней подсистемы «датчик-контроллер» к ЭВМ посредством USB соединения. Диапазон выходного напряжения выбранного нами датчика Оксик-15 от 0 до 5В, что соответствует схеме подключения на рисунке без дополнительных элементов цепи. Это не является хорошей практикой подключения датчиков [11], однако на этапе разработки программного обеспечения и общей архитектуры вполне приемлемо [10].

Рисунок 2. Схема подключения подсистемы «датчик-контроллер»

Таким образом, по результатам проведенного анализа литературных источников и ряда стендовых испытаний, нами были пройдены начальные шаги по разработке мобильного аппаратно-программного комплекса для индивидуального анализа потребления кислорода и основного обмена. А именно, разработана в общем виде архитектура программного обеспечения, подобран подходящий тип и уточнена модель кислородного газоанализатора, выбраны контроллер для взаимодействия датчика с ЭВМ и язык разработки программного компонента. В дальнейшем планируется провести дополнительные испытания работы оборудования, произвести сравнения полученных показателей с эталонными значениями в разных режимах работы и при различных условиях микросреды, продолжить разработку программного обеспечения в соответствии с системными и пользовательскими требованиями.

1. Калениченко В.О., Бойко К.А. Экспедиционные химико-аналитические исследования: методология и обеспечение условий проведения измерений в полевых условиях // Инженерно-экологические изыскания - нормативно-правовая база, современные методы и оборудование: сб. ст. всерос. конф. - М.: 2020. - С. 97-106.
2. Григорьев Г.Ю., Лагутин А.С., Набиев Ш.Ш., Васильев А.А., Орлов О.И., Мухамедиева Л.Н., Синяк Ю.Е., Пахомова А.А., Родин А.В., Семенов В.М., Малашевич С.В., Зуев Б.К., Филоненко В.А., Кирсанов Д.О.,

- Ставровский Д.Б. Мониторинг состава воздуха и воды при длительных и межпланетных космических полетах // Космические исследования. - 2020. - №1. - С. 16-26.
3. Яхонтов Б.О., Рогинский К.А. Особенности анализа дыхательных газовых смесей на основе гелия при повышенном давлении в барокамере // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №8. - С. 421-425.
 4. Захаров В.Б., Мальковский М.Г., Мостяев А.И. Проблемы выбора языков программирования при разработке кроссплатформенных приложений // Journal of open information technologies international. - 2017. - №7. - С. 29-37.
 5. Al-Naggar N.Q., Al-Hammadi H.M., Al-Fusail A.M. Design of a remote real-time monitoring system for multiple physiological parameters based on smartphone // Healthc Eng.. - 2019. - №11. - С. 134-138.
 6. Крупин М.В., Зыков В.И., Манило И.И. Определение концентрации кислорода в газовой среде (терромагнитный метод) // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК: сб. тр. конф. - Курган: 2020. - С. 200-203.
 7. Стычев С.Н., Краснопевцева Н.А. Способы анализа физиологических данных человека // Вопросы науки 2021: Потенциал науки и современные аспекты: сб. ст. междунаrodn. конф. - Анапа: 2021. - С. 19-23.
 8. Датчик парциального давления кислорода: № RU 61428 U1 Рос. Федерация: G01N 27/64 / Семчевский А.К., Габа А.М., Мурзин Г.М., Северин Г.И., Кашкаров Ю.Н.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Ангарское-ОКБА" – № 2006132994/22; зарег. 13.09.2006; опубл. 27.02.2007
 9. Иванова И.В., Слободинюк Д.С. Классификация и возможности электрохимических датчиков для анализа окружающей среды // World science: problems and innovations: сб. ст. конф. - Пенза: 2020. - С. 65-68.
 10. Датчик кислорода Oksik 15 [Электронный ресурс] // URL: https://novapribor.ru/catalog/prinadlezhnosti_dlya_kipa/sensory_dlya_gazoanalizatorov/datchik_kisloroda_oksik_15/ (дата обращения: 04.05.2021).
 11. Benjamin G.S., Floris T.V. Tap Arduino: An Arduino microcontroller for low-latency auditory feedback in sensorimotor synchronization experiments // Behav Res Methods. - 2016. - №4. - С. 1591-1607.
 12. Байнов И.Н., Волков А.Н., Вылков А.И., Калякин А.С., Шишкин А.В. Разработка электрохимического комплекса для поддержания и контроля заданного содержания кислорода в газовой смеси Ar+O₂ в герметичном перчаточном боксе // Физика. Технологии. Инновации: сб. ст. VII Международной молодежной научной конференции. - Екатеринбург: 2020. - С. 24-35.

Горбачев А.Ю., Гулякин Д.В.
3D графика в проектировании и дизайне

*Кубанский государственный технологический университет
 (Россия, Краснодар)*

doi: 10.18411/trnio-09-2021-13

Аннотация

В наши дни строительный рынок, включающий в себя архитектурные и дизайнерские решения, развивается стремительными темпами. Строительная сфера постоянно находится в поиске новых решений для оптимизации рабочих процессов. Объектом данной статьи является трехмерное моделирование, как отличный инструмент для повышения производительности и качества архитектурных и иных продуктов.

Ключевые слова: 3D, моделирование, проектирование, дизайн, архитектура, строительство, САПР, программное обеспечение.

Abstract

Today, the construction market, which includes architectural and design solutions, is developing at a rapid pace. The construction industry is constantly looking for new solutions to optimize work processes. The object of this article is 3D modeling as an excellent tool for improving the productivity and quality of architectural and other products.

Keywords: 3D, modeling, engineering, design, architecture, construction, CAD, software.

Трехмерное моделирование относится к процессу создания математического представления трехмерного объекта или формы. Это делается с помощью программного обеспечения. 3D-модели сейчас широко используются в самых разных отраслях. Кинофильмы, видеоигры, архитектура, строительство, разработка продуктов, медицина - все