

## РАЗРАБОТКА МУЛЬТИПАРАМЕТРОВОГО МОНИТОРА ПАЦИЕНТА С АНАЛИЗАТОРОМ ГАЗОВОГО СОСТАВА ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА

Николай АБАБИЙ<sup>1</sup>, Владимир ВИДИБОРСКИЙ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Технический Университет Молдовы, Факультет вычислительной техники, информатики и микроэлектроники, Кишинев, Молдова

\*Автор-корреспондент: Видиборский Владимир, [vidiborschii@yahoo.com](mailto:vidiborschii@yahoo.com)

**Резюме.** Благодаря развитию цифровых и информационно-коммуникационных технологий становится возможным проводить качественный и эффективный удаленный мониторинг состояния пациентов. Это позволяет не только решать диагностические задачи и проводить коррекцию лечения, но и приучает больных к регулярному контролю своего состояния и некоторым лечебным приемам, что оптимизирует весь процесс лечения. Авторами работы разработана концепция комбинированной системы телемониторинга как основных физиологических параметров человека ( $SpO_2$ , ЧСС/пульс, ЭКГ, неинвазивное артериальное давление, температура), так и газового состава выдыхаемого воздуха, включая углекислый газ, кислород, водород и уровень ацетона, который появляется при высоком уровне глюкозы в крови при сахарном диабете.

**Ключевые слова:** телемедицина, амбулаторный электрокардиографический мониторинг, NIBP, газоанализатор.

### Введение

В последнее время все больше внимания уделяется мониторингу здоровья пациентов с хроническими неинфекционными заболеваниями посредством эффективного удаленного обмена медицинской информацией с помощью различных медицинских устройств, методов и приложений, подключенных к Интернету, что само по себе представляет собой «дистанционный мониторинг» [1, 2].

Телемониторинг является составной частью «телемедицины», а телемедицина - это предоставление ряда медицинских услуг, основанных на использовании современных информационных технологий и телекоммуникаций, при этом медицинский персонал находится в медицинском учреждении, а пациент - по месту жительства [3, 4].

Телемониторинг здоровья включает сбор, хранение, обработку и представление данных о функциональных показателях человеческого тела (артериальное давление, частоту сердечных сокращений, частоту дыхания и т. д.), выполняемых пациентом самостоятельно с обеспечением доступа соответствующие специалистов к этим удаленным данным [5].

Непосредственный съем физиологических показателей осуществляется при помощи различных приборов, как стационарных, так и мобильных. В тоже время для целей телемедицины необходимо применение специальных приборов, обладающих возможностью передачи данных, с последующим хранением и обработкой данных медицинским персоналом.

Традиционно такие приборы по отдельности или в сочетании снимают такие биопараметры, как  $SpO_2$  (насыщенность крови кислородом), частота пульса, ЭКГ, неинвазивное артериальное давление, температура) [6, 7]. В тоже время имеющий большое клиническое значение состав выдыхаемого воздуха (содержание кислорода, углекислого газа и т.д.) пока не получил широкого распространения при телемониторинге, а только в составе сложных стационарных аппаратов класса аппаратов ИВЛ (искусственной вентиляции легких) и др. [8].

В рамках проекта №20.80009.8007.26 «Pilotarea aplicării principiilor medicinei personalizate în conduita pacienților cu boli cronice netransmisibile» авторами работы проводится разработка комбинированного монитора как основных биопараметров человека, так и анализатора состава выдыхаемого воздуха.

### Материалы и методы

В ходе проекта проводилась разработка прибора мониторинга биопараметров человека - ЭКГ, пульса (ЧСС), SpO<sub>2</sub>, артериального давления, температуры, а также модуля газоанализатора в составе датчика ацетона, водорода, кислорода и уровня CO<sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе.

Общая блок-схема прибора телемониторинга приведена на рисунке 1.

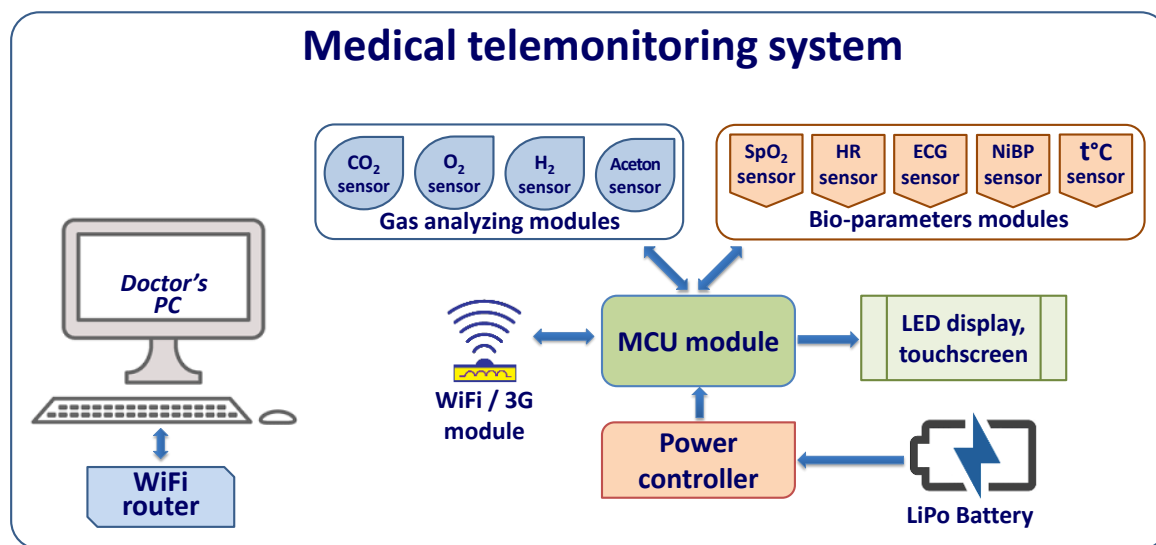


Рисунок 1. Блок-схема прибора телемониторинга

Основные компоненты перечислены ниже:

1. Блок центрального микроконтроллера;
2. Блок радиосвязи по стандарту WiFi или 3G;
3. Контроллер питания;
4. Блок дисплея (опционально с панелью сенсорного ввода);
5. Блок газоанализатора, включающий датчики газов (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, ацетон);
6. Блок анализатора биопараметров человека (SpO<sub>2</sub>, ЧСС/пульс, ЭКГ, неинвазивное артериальное давление, температура).

Далее приведено краткое описание модулей, используемых для создания прототипа:

В качестве центрального микроконтроллера со встроенной приемопередатчиком на 2.4 ГГц по стандарту WiFi был выбран гибридный радиоконтроллер ESP8266 в формате отладочной платы типа NodeMCU LoLin ESP8266 (ESP-12E).

В качестве контроллера питания на используется встроенный в модуль понижающий линейный стабилизатор типа AMS1117 на 3.3В 1А со входным напряжением до 12В, также модуль может быть запитан от шины USB. В качестве блока индикации использован экран типа OLED, на базе контроллера SH1107 (64 × 128 пикселя, 0,96 дюйма)

В качестве модуля измерения насыщенности крови кислородом используется модуль MAX30102, который является интегральным сенсорным модулем, предназначенным для упрощения разработки портативных медицинских приборов контроля сердечного ритма и насыщенности крови кислородом.

Для съема сигнала ЭКГ использован модуль типа AD8232, который представляет собой интегрированный блок обработки сигналов для ЭКГ и других биопотенциальных нагрузок. Датчик предназначен для приема, усиления и фильтрации небольших сигналов биопотенциала в условиях шума (например, создаваемых перемещением или удаленным размещением электродов).

Датчик температуры MLX90614, который представляет собой инфракрасный термометр в корпусе ТО-39, будет использоваться для определения температуры тела для измерения температуры бесконтактным способом. Температура, измеряемая датчиком, находится в диапазоне от -70 до 380 °С с разрешением 17 бит (0.02°С).

В качестве модуля NIBP (неинвазивного измерения артериального давления) на данном этапе используется стандартный электронный тонометр с цифровым выходом, модель ВМ49, которая самостоятельно проводит измерение систолического и диастолического давления и частоты пульса с отображением на ЖКИ экране и передачей информации по каналу I2C.

### **Блок газоанализатора**

Включает датчики следующих газов, определяемых в выдыхаемом воздухе - CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, ацетон. Функция одновременного измерения ацетона в выдыхаемом воздухе является отличительной особенностью данной работы.

Определение состава выдыхаемого воздуха является важным диагностическим инструментом, позволяющим как оценивать степень развития и компенсации имеющихся заболеваний в ходе назначенной терапии, так проводить диагностику новых патологических состояний.

Для достижения высокой точности и воспроизводимости результатов измерения первоначального прототипа был произведен научный и технический поиск и подбор модулей со встроенным цифровым интерфейсом.

Таким образом, были выбраны и использованы следующие модули:

- **датчик CO<sub>2</sub>**– типа NDIR, модель RMA8 (0-5000 PPM, выход UART);
- **датчик O<sub>2</sub>** – электрохимический типа ZE03-O2 (0...25 %, выход UART);
- **датчик H<sub>2</sub>** – электрохимический, модель ZE03-H2 (0...1000 PPM, UART);
- **датчик ацетона** – MEMS, модель M1015 (0...1000 PPM, выход UART).

Все вышеупомянутые датчики могут быть использованы как по отдельности, так и одновременно, определяя концентрацию целевых газов в выдыхаемом воздухе.

Все обладают единым интерфейсом и способом передачи данных, что упрощает разработку. Отдельно следует отметить наличие в составе системы датчика ацетона, что позволяет косвенно оценивать уровень глюкозы в крови при сахарном диабете (которому соответствует определенный уровень ацетона в выдыхаемом воздухе) [8].

Данная функция является отличительной особенностью разрабатываемого прибора.

### **Результаты**

В результате проведенной работы вначале было проведено функциональное тестирование каждого модуля физиологических параметров.

Проведена отладка схемы питания и схемы подключения к центральному процессору. Работоспособность модулей оценивалась путем прогонки стандартных тестовых скриптов с выводом данных в монитор последовательного порта. Используемая платформа – Arduino v1.8.10. Выбор данной платформы обуславливается простотой использования и широкой доступностью стандартных и прикладных библиотек, а также кросс-платформенностью и возможностью запуска в самых различных средах.

В дальнейшем было проведено первичное прототипирование исследуемых биопараметров организма, патем одновременного запуска нескольких модулей на базе центрального контроллера ESP-12E, а именно:

- Оценка SpO<sub>2</sub>, ЧСС/пульс, температуры посредством модуля MAX30102;
- Оценка ЭКГ+ ЧСС посредством блока AD8232;
- Оценка артериального давления (АД)+ЧСС посредством блока BM49.

Оценка работоспособности модулей газоанализатора, а также комплексное тестирование будет проводиться на следующих этапах разработки.

### **Выводы**

Исследованы физиологические параметры человеческого тела, необходимые в проекте для удаленного мониторинга; разработана концепция системы дистанционного наблюдения за физиологическими параметрами организма человека; определены и разработаны методы мониторинга физиологических параметров с последующей передачей удаленных данных беспроводными методами и определения методов сбора параметров; определены преобразователи и биосенсоры, необходимые для достижения поставленной цели; разработан прототип устройства сбора данных.

**Благодарности.** Авторы работы выражают благодарность и глубокую признательность д.н., профессору Виктору Шонтя за советы и ценные замечания при работе над данной статьей.

Статья подготовлена по результатам научного проекта „Program de stat 20.80009.8007.26” «Pilotarea aplicării principiilor medicinei personalizate în conduita pacienților cu boli cronice netransmisibile».

### **Библиография:**

1. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on telemedicine and its benefits for patients, health systems and society, COM(2008)689 final, Bruxelles, 4.11.2008. *DPI Sensors*, 12 (1), pp. 55–91, 2012.
2. Rotariu, C. Sisteme de telemonitorizare a parametrilor vitali, În: Editura „Gr. T Popa” UMF Iași, 2009.
3. Bennet, A.M., Rappaport, W.H., Skinner, F.L. Telehealth Handbook. A Guide to Telecommunications Technology for Rural Health Care, În: US Department of Health, Education and Welfare, (PHS) 78-3210, 1978.
4. Rubel, P., Fayn, J., Nollo, G., Assanelli, D., Li, B., Restier, L., Adami, S., Arod, S., Atoui, H., Ohlsson, M., Simon-Chautemps, L., Télisson, D., Malossi, C., Ziliani, G.-L., Galassi, A., Edenbrandt, L., Chevalier, P. Toward personal eHealth in cardiology. În: Results from the EPI-MEDICS telemedicine project, 38 (4), pp. 100-106, 2005.
5. Botnaru, N. Telemonitorizarea sănătății – solicitarea incontestabilă a zilei, În: Buletinul AȘM. Științele vieții, 2(332), 2017.
6. Hamid, N. I. B., Harouna, M. T., Salele, N., Muhammad, R. Comparative Analysis of Various Wireless Multimedia Sensor Networks for Telemedicine, În: International Journal of Computer Applications, 73 (16), pp. 0975 – 8887, 2013.
7. Hu, F., Jiang, M., Celentano, L., Xiao, Y. Robust medical ad hoc sensor networks (MASN) with wavelet-based ECG data mining, În: Ad Hoc Networks, 6 (7), pp. 986-1013, 2008.
8. N. Alizadeh, H. Jamalabadi and F. Tavoli, "Breath Acetone Sensors as Non-Invasive Health Monitoring Systems: A Review," in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 1, pp. 5-31, 1 Jan.1, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2019.2942693.