

## РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО УСТРОЙСТВА ДЛИТЕЛЬНОГО ЭКГ-МОНИТОРИРОВАНИЯ

**С.Ю. Свита, Д.А. Петрыкин**

*Московский физико-технический институт (государственный университет),  
г. Москва, Россия*

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) заболевания сердечно-сосудистой системы являются важнейшим фактором, снижающим среднюю продолжительность жизни человека. Многие заболевания излечимы или контролируемы, если их своевременно диагностировать. Статья посвящена разработке автономного носимого устройства длительного ЭКГ-мониторирования. Необходимость длительного мониторинга обусловлена невозможностью обнаружения некоторых заболеваний сердца, в частности некоторых типов аритмии, за время стандартного суточного (24–48 ч) холтеровского обследования. Рассмотрены основные аспекты разработки, описаны ключевые узлы устройства и предложена радиоэлементная база, описан алгоритм работы программного обеспечения микропроцессора. Технические требования при проектировании устройства были установлены, исходя из возможных сценариев использования и пожеланий со стороны кардиологов. Полученный опытный образец был апробирован, технические наработки могут быть использованы при серийном производстве.

*Ключевые слова: электрокардиография, ЭКГ-мониторирование, телемедицина.*

### **Введение**

Заболевания сердечно-сосудистой системы наиболее распространенная причина высокой смертности [1]. Развитие этих заболеваний можно предупредить, если своевременно их диагностировать и контролировать их развитие.

Статья представляет собой руководство по разработке устройства, которое позволяет выявить заболевания сердца на ранней стадии, в тех случаях, когда холтеровские мониторы не в состоянии заметить отклонения, в силу того, что снимают сигнал в течение 1–2 сут. Далее будет рассмотрена практическая реализация автономного носимого устройства длительного ЭКГ-мониторирования.

### **Устройство**

Предлагаемое решение представляет из себя устройство в виде гибкого пластыря, которое клеится в области грудной клетки. Оно производит непрерывную запись ЭКГ-сигнала в одном отведении в течение 10 дней. Полученный ЭКГ-сигнал предварительно обрабатывается и, при необходимости, передается в реальном времени через интернет для дальнейшего автоматического анализа и просмотра кардиологом.

Устройство должно соответствовать следующим критериям:

- длительность автономной работы не менее 10 сут. Это необходимо для выявления некоторых типов аритмии, которые редко проявляются;
- запись формы аналогового сигнала ЭКГ в одном отведении с частотой дискретизации не менее 1000 Гц и разрядностью 10 бит;
- запись данных о физической активности пользователя. Необходимо для выявления корреляции работы сердечно-сосудистой системы и физической активности [2];
- низкая себестоимость;
- малые габариты устройства и масса.

Согласно вышеперечисленным критериям была подобрана радиоэлектронная база. Предлагаемое Устройство длительного ЭКГ-мониторирования состоит из следующих узлов:

- интегральный модуль снятия ЭКГ в одном отведении;
- микроконтроллер;
- FLASH-память;
- датчик ускорения;
- Bluetooth LE интегральная схема;
- LDO-регулятор или малощумящий DC-DC-преобразователь;
- Li-Pol аккумулятор, 200...300 мА·ч.

В качестве интегрального модуля снятия ЭКГ в одном отведении предлагается применить специализированную микросхему от Analog Devices – AD8232, вход которой реализован на малощумящих инструментальных усилителях. Суммарный ток потребления не превышает 170 мкА [3] (потребляемая энергия за час 0,17 мА·ч, за 10 дней – 40,8 мА·ч), что важно для автономного устройства.

Для получения минимальных искажений полоса частот входного сигнала ограничена фильтром верхних частот (ФВЧ) с частотой среза  $f_{-3\text{ дБ}} = 0,5$  Гц и фильтром низких частот (ФНЧ) с частотой среза  $f_{-3\text{ дБ}} = 40$  Гц. Внешний вид АЧХ входной цепи представлен на рис. 1.

В качестве микроконтроллера выбран доступный ATmega328, с током потребления менее 1 мкА в спящем режиме.

В качестве модуля памяти используется non-FLASH-память серии n25q от Micron, подключенная к микроконтроллеру по последовательному интерфейсу Serial Peripheral Interface (SPI).

Физическая активность пользователя, а также его положение определяются по данным с трехосевого датчика ускорения MMA8451Q, обеспечивающего высокую точность (до 14 бит на ось) и скорость (до 800 Гц частота дискретизации) получения данных об ускорении, при малом энергопотреблении: 24 мкА в режиме пониженного энергопотребления при частоте дискретизации 100 Гц.

В качестве Bluetooth Low Energy (BLE)-чипа используется распространенный nRF8001 от Nordic Semiconductor с выходной мощностью  $-18...0$  дБм и чувствительностью  $-87$  дБм [4]. Он управляется и взаимодействует с микроконтроллером по последовательной шине SPI.

### Принцип работы устройства

Устройство приклеивается в области грудной клетки, используются три электрода: два электрода служат для непосредственного снятия сигнала, а третий (центральный) для подавления синфазных помех.

После включения устройства происходит настройка портов ввода/вывода микроконтроллера, а также происходит инициализация внутренней периферии самого микроконтроллера: I2C, SPI, ADC. Затем происходит программный сброс внешней периферии: акселерометра, интегральной микросхемы снятия ЭКГ, Bluetooth LE чипа и FLASH-памяти. Подключение к смартфону возможно в любой момент работы устройства. Не зависимо от этого, данные всегда записываются во внутреннюю память.

После этого устройство переходит в режим сбора и сохранения информации, программа микроконтроллера реализует циклический алгоритм, в ходе выполнения которого идет непрерывный опрос микросхемы снятия ЭКГ, датчика ускорения, а затем по мере накопления происходит сохранения полученных данных во FLASH-память и, если соединение по Bluetooth LE было установлено, также происходит передача данных на смартфон.

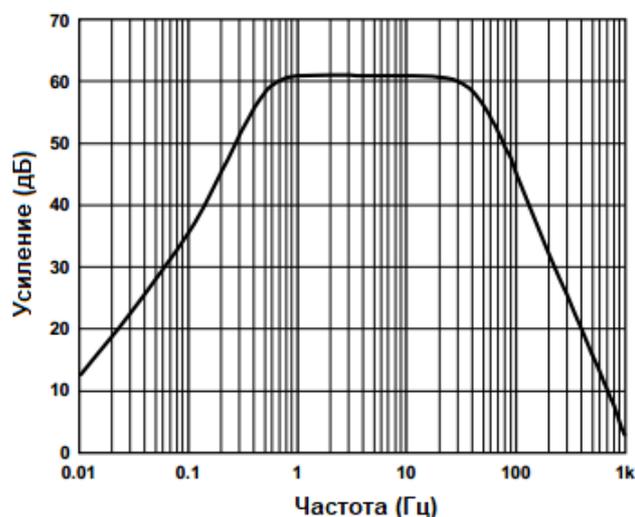
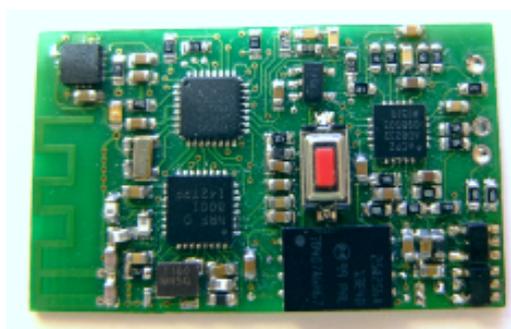


Рис. 1. АЧХ входной аналоговой цепи снятия ЭКГ



**Рис. 2.** Внешний вид печатной платы устройства

В устройстве реализована возможность сохранения временных меток. Например, пользователь может путем нажатия на кнопку зафиксировать момент, когда он почувствовал боль в грудной клетке или его самочувствие резко ухудшилось. Это событие будет зафиксировано, и врач при анализе обратит внимание на этот временной участок для выявления причины и анализа корреляции с физической активностью в этом промежутке времени.

Все компоненты смонтированы на двухслойной печатной плате размером  $22 \times 37$  мм (рис. 2).

### Заключение

Были рассмотрены основные аспекты разработки носимого автономного устройства длительного ЭКГ-мониторирования, а также предложена радиоэлементная база для разработки устройства, удовлетворяющего поставленным критериям.

### Литература

1. Всемирная организация здравоохранения. Сердечно-сосудистые заболевания <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/> (дата обращения: 20.10.2017).
2. Кушаковский, М.С. Аритмии сердца / М.С. Кушаковский. – СПб.: ГИППОКРАТ, 1992. – 524 с.
3. AD8232 – Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End. – <http://www.analog.com/ru/products/application-specific/medical/ecg/ad8232.html#product-overview> (дата обращения: 20.10.2017).
4. nRF8001 Bluetooth low energy Connectivity IC. – <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-low-energy/nRF8001> (дата обращения: 20.10.2017).

**Свита Сергей Юрьевич**, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Москва; [sergey.svita@gmail.com](mailto:sergey.svita@gmail.com).

**Петрыкин Денис Алексеевич**, аспирант, Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Москва; [denis.petrykin@gmail.com](mailto:denis.petrykin@gmail.com).

*Поступила в редакцию 4 декабря 2017 г.*

---

DOI: 10.14529/ctcr180112

## DESIGN OF AN AUTONOMOUS DEVICE FOR LONG-TERM ECG MONITORING

**S. Yu. Svita**, [sergey.svita@gmail.com](mailto:sergey.svita@gmail.com),  
**D.A. Petrykin**, [denis.petrykin@gmail.com](mailto:denis.petrykin@gmail.com)

*Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Moscow, Russian Federation*

According to World Health Organization (WHO), diseases of the cardiovascular system are the most important factor that reduces the average life expectancy of a person. Many diseases are curable or controlled if diagnosed in a timely manner. The article is devoted to the development of an autonomous wearable device for long-term ECG monitoring. The need for prolonged ECG monitoring is due to the inability to detect certain cardiac diseases, in particular certain types of arrhythmia, during the standard daily (24–48 h) Holter monitoring. The main aspects of development are considered, the key components of the device are described and the electronic components base is

proposed, the algorithm of the microprocessor software is also described. Technical requirements for the design of the device were established based on possible use cases and wishes from cardiologists. The obtained prototype has been approved, technical developments can be used in mass production.

*Keywords: electrocardiography, ECG monitoring, telemedicine.*

#### References

1. *Vsemirnaya organizaciya zdavookhraneniya. Serdechno-sosudistye zabolevaniya* [The World Health Organization. Cardiovascular Diseases]. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/> (accessed 20 October 2017).
2. Kushakovskiy M.S. *Aritmii serdtsa* [Heart Arrhythmias]. Saint Petersburg, GIPPOKRAT Publ., 1992. 524 p.
3. AD8232 – Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End. Available at: <http://www.analog.com/ru/products/application-specific/medical/ecg/ad8232.html#product-overview> (accessed 20 October 2017).
4. nRF8001 Bluetooth Low Energy Connectivity IC. Available at: <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-low-energy/nRF8001> (accessed 20 October 2017).

*Received 4 December 2017*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Свита, С.Ю. Разработка автономного устройства длительного ЭКГ-мониторирования / С.Ю. Свита, Д.А. Петрыкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 106–109. DOI: 10.14529/ctcr180112

#### FOR CITATION

Svita S.Yu., Petrykin D.A. Design of an Autonomous Device for Long-Term ECG Monitoring. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 106–109. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr180112