

УДК: 616-71

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИОННОГО  
КАРДИОРЕСПИРАТОРНОГО МОНИТОРИНГА**

И.К. МЕШКОВСКИЙ<sup>1</sup>, В.И. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>, С.А. ТАРАКАНОВ<sup>3</sup>, Н.И. РЫЖАКОВ<sup>1</sup>, А.А. РАССАДИНА<sup>3</sup>

Контактное лицо: Рассадина Анна Александровна, тел. (812) 376-38-52, 8-950-047-25-58,  
e-mail: [a.a.rassadina@gmail.com](mailto:a.a.rassadina@gmail.com)

<sup>1</sup> Кафедра физики и техники оптической связи Национального Исследовательского Университета Информационных Технологий, Механики и Оптики;

<sup>2</sup> Общество с ограниченной ответственностью «Конструкторское бюро современных технологий Санкт-Петербургского Государственного Университета ИТМО»;

<sup>3</sup> Центр медицинского, экологического приборостроения и биотехнологий Национального Исследовательского Университета Информационных Технологий, Механики и Оптики.

**Аннотация:** Вниманию читателя предлагается аппаратно-программно-алгоритмический комплекс дистанционного кардиореспираторного мониторинга в режиме реального времени, предназначенный для измерений ЭКГ и дыхательного ритма. Прибор разработан для длительной постоянной диагностики в течении 1 месяца и более. Области применения АПАК охватывают:

- кардиологический мониторинг при нарушении сердечно-сосудистой деятельности пациента;
- диагностика апноэ, бронхиальной астмы и др. нарушений дыхания;
- диагностика физических нагрузок в спортивной медицине и космонавтике;
- эпилептические приступы;
- клинические испытания лечебных препаратов и транквилизаторов.

**Ключевые слова:** Дистанционный мониторинг, кардиореспираторная диагностика, телемедицина.

**APPARATUS-PROGRAM-ALGORITHMIC COMPLEX OF REMOTE CARDIORESPIRATORY  
MONITORING**

I.K. MESHKOVSKY<sup>1</sup>, V.I. KUZNETSOV<sup>2</sup>, S.A. TARAKANOV<sup>3</sup>, N.I. RYZHAKOV<sup>1</sup>, A.A. RASSADINA<sup>3</sup>

Tel.: (812) 376-38-52, 8-950-047-25-58, e-mail: [a.a.rassadina@gmail.com](mailto:a.a.rassadina@gmail.com)

<sup>1</sup> Chair of physics and equipment of optical communication of National Research University of Information Technologies, Mechanics and Opticians;

<sup>2</sup> Limited liability company «Design office of modern technologies of the St. Petersburg State University ИТМО»;

<sup>3</sup> Center of medical, ecological instrumentation and biotechnologies of National Research University of Information Technologies, Mechanics and Opticians.

**Abstract:** The apparatus-program-algorithmic complex remote cardiorespiratory monitoring in real time, intended for measurements of an electrocardiogram and a respiratory rhythm is offered to attention of the reader. The device is developed for long continuous diagnostics within 1 month and more. Scopes of АПАК cover:

- cardiological monitoring at violation of cardiovascular activity of the patient;
- diagnostics of violations of breath, bronchial asthma, etc. breath violations;
- diagnostics of physical activities in sports medicine and astronautics;
- epileptic attacks;
- clinical tests of medical preparations and tranquilizers.

**Key words:** Remote monitoring, cardiorespiratory diagnostics, telemedicine.

**Введение**

Актуальной задачей современной медицины является создание дистанционного диагностического устройства объединяющего в себе функции кардиологического и респираторного мониторинга. В настоящее время активно развивается кардиологический мониторинг [3, 5-7, 10, 11, 13, 14, 17, 19-23], тогда как респираторному мониторингу уделяется гораздо меньше внимания в научном мире [1, 2, 4, 8, 9, 12, 15, 16, 18]. Вместе с тем, дыхание человека отражает многие патологические изменения в организме, позволяет выявить нарушения в функционировании сердечно-сосудистой системы. Возможность непрерывного дистанционного кардиореспираторного мониторинга играет важную роль в сохранении жизни и здоровья пациентов во многих отраслях медицинского знания. В частности, такие приборы необходимы для мониторинга состояния здоровья больных с различными нарушениями сердечно-сосудистой деятельности, мониторинга нарушений дыхания во время сна и при бронхиальной астме, при выполнении и регулировании физических нагрузок во время профессиональных спортивных тренировок, при наблюде-

нии за больными эпилепсией, для проведения клинических испытаний различных лечебных препаратов и транквилизаторов.

Авторами статьи был выполнен аналитический обзор 23 источников, опубликованных за период 2006-2012 гг. В рассмотренной литературе затрагивались различные аспекты кардиологического и респираторного мониторинга физиологических параметров человека. Для развития современной дистанционной диагностической медицины, существующие решения, представленные на мировом рынке, обладают рядом недостатков: недостаточным по длительности временем автономной работы (не более двух дней для холтеровских кардиологических датчиков) или невозможностью работать в режиме непрерывной диагностики (транстелефонные системы), отсутствием режима передачи и обработки данных в реальном масштабе времени, обратная связь пациента со специалистом возможна только посредством телефонных переговоров.

В центре медицинского, экологического приборостроения и биотехнологий НИУ ИТМО (г. СПб) в сотрудничестве с кафедрой физики и техники оптической связи НИУ ИТМО и ООО «КБСТ ИТМО» с учетом требований, предъявляемых к современному дистанционному диагностическому оборудованию, разработан макет *аппаратно-программно-алгоритмического комплекса (АПАК)* дистанционного кардиореспираторного мониторинга. Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Особенности работы АПАК предлагаются вниманию читателей в настоящей публикации.

#### **Особенности работы АПАК**

Авторами статьи, с учетом предъявляемых к современному диагностическому оборудованию требований, разработан уникальный АПАК дистанционного кардиореспираторного мониторинга в режиме реального времени.

Устройство способно определять такие нарушения сердечно-сосудистой деятельности, как: асистолия желудочков сердца, фибрилляция желудочков сердца, пароксизмальная желудочковая тахикардия, выпадение QRS-комплексов, желудочковые экстрасистолы, наджелудочковые экстрасистолы, тахикардия, брадикардия, желудочковая экстрасистолия, полиморфная желудочковая экстрасистолия, наджелудочковая экстрасистолия, желудочковая бигеминия, желудочковая тригеминия, мерцательная аритмия, появление эпизодов апноэ. Также АПАК определяет и анализирует ритм и глубину дыхания.

Инновационность АПАК заключается:

- в интегрированной системе кардиологического и респираторного мониторинга в одном устройстве;
- в осуществлении удаленного мониторинга в течении длительного периода (месяц и более) в режиме реального времени.

Отличительными особенностями прибора, по сравнению с приборами конкурентов, являются автоматическая передача сигнала без участия человека, портативность и удобство в эксплуатации. Для дистанционной передачи сигнала в АПАК применены современные методы телемедицины.

#### **Особенности устройства АПАК**

Основными элементами АПАК являются:

- носимое пациентом портативное диагностическое устройство - система кардиореспираторного мониторинга (далее СКМ);
- телефон-трансивтер (сотовый телефон пациента);
- сервисное оборудование *дистанционного диагностического центра* (далее ДДЦ).

Специально для АПАК разработано оригинальное программное обеспечение.

Эксплуатационные возможности АПАК включают:

- круглосуточное наблюдение и регистрация ЭКГ и ускорения при движении грудной клетки в процессе дыхания;
- предварительная обработка сигнала в СКМ;
- автоматическое распознавание СКМ диагностически значимых кардиореспираторных нарушений в реальном времени и их классификация по степени опасности;
- сигнализация пациенту об угрожающих здоровью состояниях, в том числе, при отсутствии связи с сервером ДДЦ, и индикация уровня угрозы выявленных нарушений на мониторах ДДЦ;
- длительное наблюдение в режиме реального времени за реакцией сердечно-сосудистой и дыхательной систем на лечебные мероприятия, дозированные физические нагрузки и медикаментозные воздействия.

Алгоритм дистанционного мониторинга АПАК можно представить в виде следующей схемы (рис. 1).

СКМ осуществляет регистрацию сигналов кардиографии и акселерометрии (измерения ускорения при движении грудной клетки). Для синхронизации данных устройство снабжено часами реального времени.

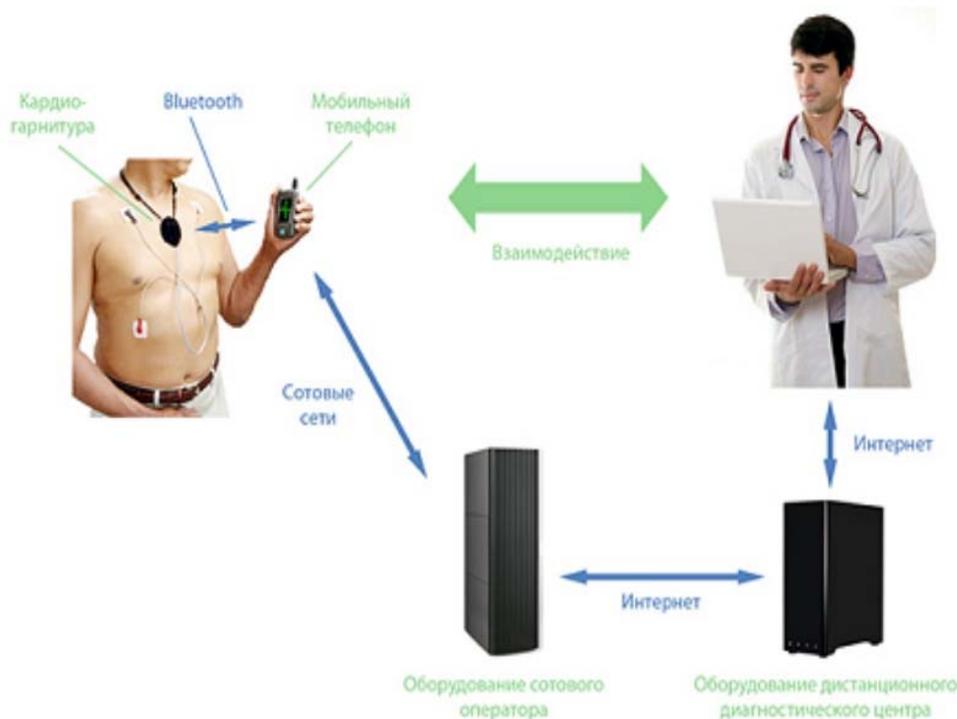


Рис. 1. Алгоритм дистанционного мониторинга АПАК

Кардиологический мониторинг в АПАК осуществляется методом отведений по Небо с помощью трех электродов (опционально еще один электрод может использоваться как «земляной»). Такой метод не требует крепления электродов к конечностям, но достаточно точно отражает основные характеристики ЭКГ.

Для измерения параметров дыхания в устройстве реализован акселерометрический метод. Миниатюрный акселерометр фиксирует любое изменение своего положения в пространстве. Фильтрация сигналов дыхательной системы при движении грудной клетки от посторонних (например, разговоры) осуществляется специальным программным обеспечением. По показаниям ускорения происходит запись и анализ ритма дыхания, его глубины, апноэтических эпизодов и прочее.

Питание СКМ осуществляется от аккумуляторной батареи. В устройстве предусмотрена функция приоритетного отчета: если пациент ощущает дискомфорт, испытывает нарушения дыхания или сердцебиения, чувствует боль в сердце или груди и др., он может нажать на специальную кнопку на приборе, и вся информация о его текущем состоянии будет передана на сервер ДДЦ в приоритетном режиме.

Передача сигналов в ДДЦ осуществляется в режиме реального времени через сотовый телефон диагностируемого. Во избежание большого расхода электрической энергии, возникающего при длительной передаче информации посредством мобильных сотовых сетей, в носимом пациентом диагностическом устройстве, а также в телефоне-трансивере реализован дополнительный алгоритм, позволяющий выявлять критические отклонения параметров ЭКГ и ускорения, осуществляющий сжатие хранимой и передаваемой информации.

ДДЦ осуществляет наблюдения за состоянием сердечно-сосудистой и дыхательной системами пациента как в режиме реального времени, так и по записям в архиве; информирует, консультирует, или осуществляет срочную медицинскую помощь пациенту по результатам мониторинга.

#### Заключение

Уникальность АПАК дистанционного кардиореспираторного мониторинга заключается в проведении удаленной диагностики кардиологических и респираторных параметров в течение длительного периода времени (месяц и более) в реальном масштабе времени. Тогда как современные дистанционные кардиологические и респираторные устройства не могут работать в режиме реального времени при передаче и обработке данных. Важной особенностью АПАК является его способность одновременно снимать как характеристики сердечной деятельности, так и дыхательных процессов и синхронизировать их по времени.

Мониторинг и распознавание нарушений сердечно-сосудистой деятельности и дыхания с привязкой по времени позволяет значительно упростить процесс диагностирования. Врач может просматривать запись снятых диаграмм только в те моменты, когда прибор зафиксировал нарушения ритма или какие-либо другие отклонения. Врач так же может просматривать снимаемые характеристики, как в режиме

реального времени, так и из архива на сервере ДДЦ. СКМ способно само в случае необходимости подавать экстренные сигналы – при остановке дыхания и серьезных нарушениях.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

#### Литература

1. Al-Salaymeh, A. Bi-directional flow sensor with a wide dynamic range for medical applications / A. Al-Salaymeh, J. Jovanović, F. Durst // *Medical Engineering and Physics*. – 2008. – V. 26 (8). – P. 623–637.
2. Balleza, M. Monitoring of Breathing Pattern at Rest by Electrical Impedance Tomography / M. Balleza, J. Fornos, N. Calaf [et al.] // *Archivos de Bronconeumología ((English Edition))*. – 2006. – V. 43 (6). – P. 300–303.
3. Barón-Esquivias, G. Transtelephonic electrocardiography for managing out-of-hospital chest pain emergencies / G. Barón-Esquivias, J.J. Santana-Cabeza, R. Haro [et al.] // *Journal of Electrocardiology*. – 2011. – V. 44 (6). – P. 755–760.
4. Ciaccio, E. Measurement and monitoring of electrocardiogram belt tension in premature infants for assessment of respiratory function / E. Ciaccio, M. Hiatt, T. Hegyi, G. Drzewiecki // *Biomed. Eng. Online*. – 2007. – V. 19. – P. 6–13.
5. Dorn, R. A 3-channel ECG measuring system for wireless applications / R. Dorn, M. Volker, H. Neubauer [et al.] // *MeMeA 2006 – International Workshop on Medical Measurement and Applications, Benevento, Italy, 20-21 April*. – 2006. – P. 49–52.
6. Fujiki, A. QT/RR relation during atrial fibrillation based on a single beat analysis in 24-h Holter ECG: The role of the second and further preceding RR intervals in QT modification / A. Fujiki, R. Yoshioka, M. Sakabe, S. Kusuzaki // *Journal of Cardiology*. – 2011. – V. 57 (3). – P. 269–274.
7. Goñi, A. Architecture, cost-model and customization of real-time monitoring systems based on mobile biological sensor data-streams / A. Goñi, A. Burgos, L. Dranca [et al.] // *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. – 2009. – V. 96 (2) – P. 141–157.
8. Huang, C. A wearable yarn-based piezo-resistive sensor / C. Huang, C. Shen [et al.] // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2008. – V. 141 (2). – P. 396–403.
9. Jourand, P. Textile Integrated Breathing and ECG Monitoring System / P. Jourand, H. Clercq, R. Corthout, R. Puers // *Procedia Chemistry*. – 2009. – V. 1 (1). – P. 722–725.
10. Kouidi, E. Transtelephonic electrocardiographic monitoring of an outpatient cardiac rehabilitation programme / E. Kouidi, A. Farmakiotis, N. Kouidis, A. Deligiannis // *Clin. Rehabil.* – 2006. – V. 20. – P. 1100–1104.
11. Kulkarni, P. mPHASiS: Mobile patient healthcare and sensor information system / P. Kulkarni, Y. Ozturk // *Journal of Network and Computer Applications*. – 2011. – V. 34 (1). – P. 402–417.
12. Laukhin, V. Flexible All-organic Highly Tenzo-resistive bi Layer Films as Weightless Strain and Pressure Sensors for Medical Devices / V. Laukhin, E. Laukhina // *Sensor Devices 2011: The Second International Conference on Sensor Device Technologies and Applications*. – 2011. – P. 151–154.
13. Lee, H. J. Ubiquitous healthcare service using Zigbee and mobile phone for elderly patients / H.J. Lee, S.H. Lee, K. Ha [et al.] // *International Journal of Medical Informatics*. – 2009. – V. 78 (3). – P. 193–198.
14. Lucani, D. A portable ECG monitoring device with Bluetooth and Holter capabilities for telemedicine applications / D. Lucani, G. Cataldo, J. Cruz [et al.] // *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, USA, Aug 30-Sept 3*. – 2006. – P. 5244–5247.
15. Morillo, D.S. An accelerometer-based device for sleep apnea screening / D.S. Morillo, J.L.R. Ojeda, L.F.C. Foix, A.L. Jiménez // *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* – 2010. – V. 14 (2). – P. 491–499.
16. Nakano, H. Automatic detection of sleep-disordered breathing from a single-channel airflow record / H. Nakano, T. Tanigawa, N. Furukawa, S. Nishima // *Eur. Respir. J.* – 2007. – V. 29 (4). – P. 728–736.
17. Picard, R.W. Relative subjective count and assessment of interactive technologies applied to mobile monitoring of stress / R.W. Picard, K.K. Liu // *International Journal of Human-Computer Studies*. – 2007. – V. 65 (4). – P. 361–375.
18. Rauhala, E. Periodic limb movement screening as an additional feature of Emfit sensor in sleep-disordered breathing studies / E. Rauhala, J. Virkkala, S.-L. Himanen // *Journal of Neuroscience Methods*. – 2009. – V. 178 (1). – P. 157–161.
19. Rothman, S. The diagnosis of cardiac arrhythmias: a prospective multi-center randomized study comparing mobile cardiac outpatient telemetry versus standard loop event monitoring / S. Rothman, J. Laughlin, J. Seltzer [et al.] // *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* – 2007. – V. 18 (3). – P. 241–247.
20. Sneha, S. Enabling ubiquitous patient monitoring: Model, decision protocols, opportunities and challenges / S. Sneha, U. Varshney // *Decision Support Systems*. – 2009. – V. 46 (3) – P. 606–619.
21. Su, C.J. Mobile multi-agent based, distributed information platform (MADIP) for wide-area e-health monitoring / C.J. Su // *Computers in Industry*. – 2008. – V. 59 (1). – P. 55–68.

22. Warren, I. Telehealth: A Mobile Service Platform for Telehealth / I. Warren, T. Weerasinghe [et al.] // *Procedia Computer Science*. – 2011. – V. 5. – P. 681–688.

23. Winkler, S. A new telemonitoring system intended for chronic heart failure patients using mobile telephone technology – Feasibility study / S. Winkler, M. Schieber, S. Lücke [et al.] // *International Journal of Cardiology*. – 2011. – Vol. 153. – Is. 1. – P. 55–58.