

## Новые решения визуализации биомедицинских сигналов в системах телемедицины

Ю.Г. Горшков

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,  
Москва, Россия

ORCID: 0000-0003-0483-4603, [y.gorshkov@npo-echelon.ru](mailto:y.gorshkov@npo-echelon.ru)

### **Аннотация**

В работе предложены новые решения визуализации биомедицинских сигналов при разработке и эксплуатации систем телемедицины акустической кардиодиагностики. Визуальная оценка биопараметров осуществляется на основе многоуровневого вейвлет-анализа зарегистрированных акустических сигналов человека, характеризующих текущее функционирование сердечно-сосудистой системы, системы дыхания и речеобразования. Предложенные решения визуализации реализованы в системах телемедицины «АКУСТОКАРД» и «АКУСТОМЕД». Разработанная система телемедицины «АКУСТОКАРД», представляющая собой комплекс программно-аппаратных средств, позволяет выявлять сердечно-сосудистые заболевания на ранних стадиях. «АКУСТОМЕД» является развитием системы телемедицины «АКУСТОКАРД», дополнительно обеспечивает получение акустосонограммы звуков дыхания и вейвлет-сонограммы речевого сигнала для оценки уровня эмоциональной напряженности пациента.

Применение системы телемедицины «АКУСТОМЕД»: экспресс-диагностика состояния сердечно-сосудистой системы; оперативный контроль состояния работы сердца для лиц, перенесших операцию на сердце; детская кардиология; спортивная медицина; домашняя телемедицина.

Экспериментальная апробация технологии визуализации биомедицинских сигналов в системах телемедицины акустической кардиодиагностики подтвердила ее высокую эффективность.

**Ключевые слова:** акустокардиография, биомедицинские сигналы, многоуровневый вейвлет-анализ, система телемедицины.

## 1. Введение

В последние годы в диагностике заболеваний сердца все большее применение находит акустокардиография. Такие достоинства, как неинвазивность, высокая точность, а также сравнительно невысокая стоимость оборудования создают предпосылки для применения акустокардиографии в целях дистанционного биомониторинга, в том числе в системах домашней телемедицины [1, 2].

В связи с вступлением в нашей стране с 1 января 2018 года в силу закона о телемедицине [3] решение задач, направленных на создание новых средств удаленной комплексной диагностики нарушений сердечной деятельности, следует отнести к актуальным. В системах телемедицины акустической кардиодиагностики особое значение придается высокоточным методам визуализации биомедицинских сигналов.

## **2. Акустокардиография**

Акустокардиография (АКГ) - метод акустофизиологического исследования работы сердца в норме и патологии, основанный на регистрации и многоуровневом вейвлет-анализе сигналов тонов и шумов сердца. Съём акустических сигналов осуществляется с использованием специализированного прибора, состоящего из конденсаторного цифрового микрофона и устройства крепления на теле обследуемого. Получаемое изображение – «видимый звук» сердца (вейвлет-сонограмма) или акустокардиограмма – отображает незначительные отклонения в работе сердца. Акустокардиография является развитием распространённого метода диагностического исследования сердца – фонокардиографии (ФКГ) [4-9].

Акустокардиографическое исследование включает 3 этапа: запись звуковых сигналов сердца; построение и документирование акустокардиограмм; анализ полученных акустокардиограмм и составление заключения специалистом-кардиологом. Может применяться как при первичном, так и при углубленном кардиологическом обследовании.

*Первичное кардиологическое обследование.* При проведении первичного обследования осуществляется регистрация на персональный компьютер (ПК) сигналов в одной из точек аускультации сердца, например, в области «верхушки» сердца. Существенным преимуществом данной технологии является то, что регистрацию звуковых сигналов сердца может осуществлять как средний медперсонал, так и пациент самостоятельно при наличии у него компьютера с выходом в ИНТЕРНЕТ, модуля с цифровым микрофоном и ПО «Регистратор 2.11». Для этого необходимо научиться закреплять микрофон в одной из точек аускультации сердца и освоить работу с программой записи. Полученный wav-файл длительностью не менее 1 минуты отправляется по электронной почте в Кардиологический Центр для обработки и анализа.

*Углубленное кардиологическое обследование.* Углубленное кардиологическое обследование осуществляется специалистом-кардиологом с использованием аппаратных средств регистрации звуковых сигналов сердца, программного обеспечения (ПО) WaveView-ACG, получения акустокардиограмм и их последующим анализом. При проведении анализа сигналов сердца на мониторе ПК можно отобразить акустокардиограммы с различным разрешением, а также документировать детальную частотно-временную структуру работы сердца в диапазоне от 1-5 Гц до 4 кГц. (Как известно, наибольшая чувствительность человеческого слуха находится в диапазоне 2,5–5 кГц). Длительность записей может составлять от нескольких секунд до нескольких часов.

Используемая в акустокардиографии технология многоуровневого вейвлет-анализа акустических сигналов позволяет выявлять не только незначительные изменения в работе сердца, но и определять параметры шумов малого уровня.

### **2.1 Акустографическое исследование звуков сердца и легких**

Акустографическое исследование звуков сердца и легких относится к новому направлению неинвазивных методов функциональной диагностики [10]. Основано на технологии многоуровневого вейвлет-анализа биомедицинских сигналов [11-15]. Анализ частотно-временных характеристик вейвлет-сонограмм звуков сердца и легких проводится одновременно с оценкой эмоциональной напряженности пациента по голосу [16].

### **2.2 Аппаратные средства съема акустических сигналов**

На рис. 1 представлен внешний вид устройства съема звуков сердца и легких, выполненного в виде ларингофонной гарнитуры с малогабаритным конденсаторным цифровым USB-микрофоном. Гарнитура закрепляется в области шеи и обеспечивает съём звуков сердца, дыхания и речи, а также аналого-цифровое преобразование сигналов. Тракт регистрации включает USB Desktop Microphone (Logitech) и звуковой редактор

AD Sound Recorder. Формат записи WAV, режим mono, частота дискретизации 11025 Гц, разрядность 16 бит.



Рис. 1. Внешний вид устройства съема звуков сердца и легких.

### 2.3 Программное обеспечение WaveView-MWA

ПО WaveView-MWA является последней версией программных средств WaveView [10]. При построении акустосонограмм или изображений «видимый звук» используются материнские вейвлеты: Морле, Хаара, «Мексиканская шляпа». Тестирование ПО WaveView-MWA показало возможность выделения и визуализации нестационарных сигналов малого уровня до -60 дБ.

На рис. 2 представлена акустосонограмма звуков сердца, дыхания и вейвлет-сонограмма речи пациента.

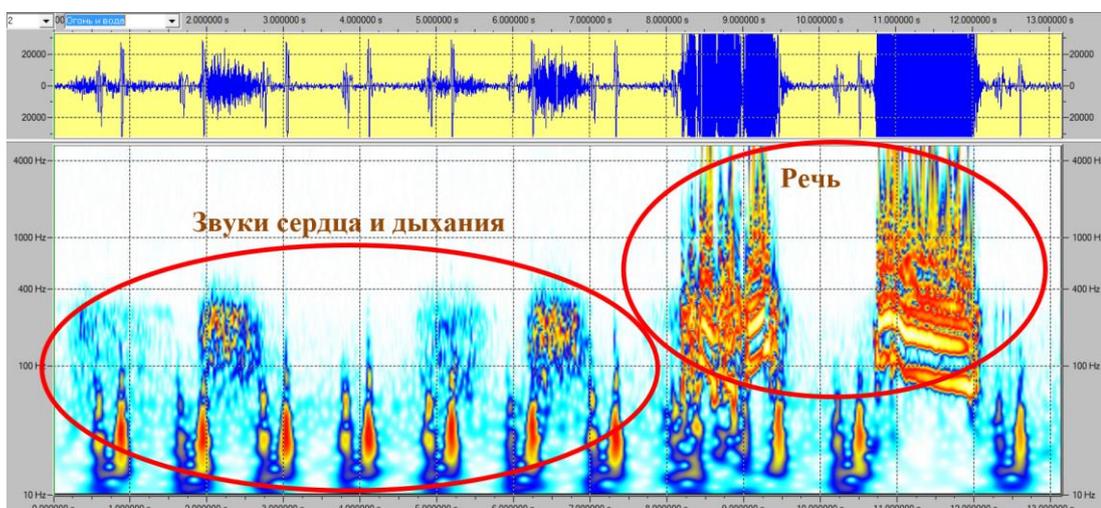


Рис. 2. Акустосонограмма звуков сердца, дыхания и вейвлет-сонограмма речи пациента.

## 2.4 Примеры акустосонограмм биомедицинских сигналов

При проведении акустографического исследования звуков сердца и легких с оценкой эмоциональной напряженности пациента по голосу определена длительность записи - 60 секунд и ее структура: первые 30 секунд регистрируются звуки сердца и дыхания, последующие 10 секунд - речевые комментарии пациента, последние 20 секунд - кардиосигналы при остановке дыхания (рис. 3).

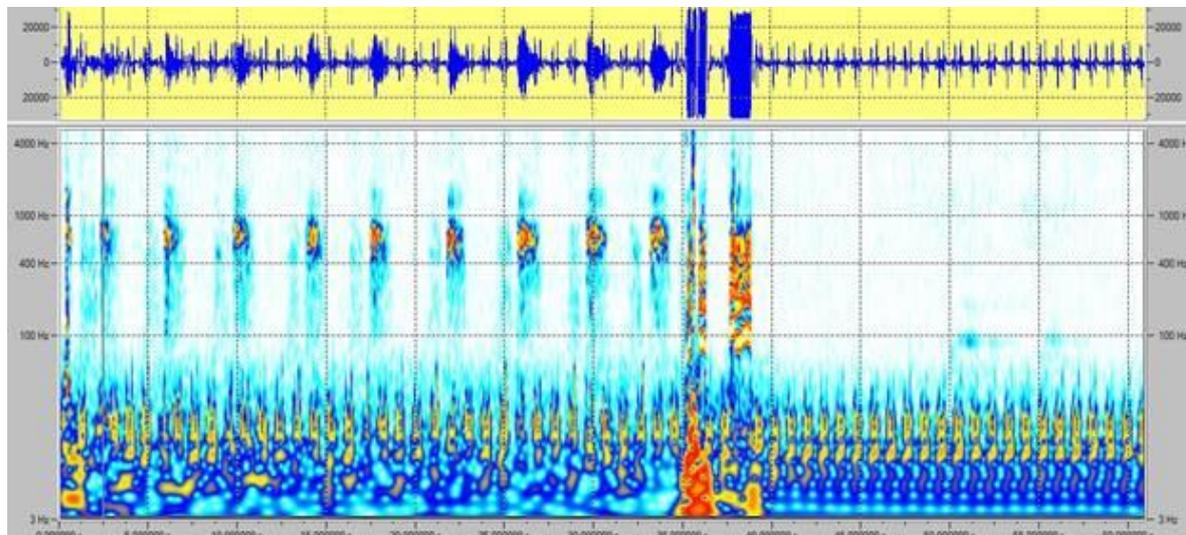


Рис. 3. Акустосонограмма записи при проведении акустографического исследования.

С использованием устройства съема звуков сердца и легких зарегистрированы 1089 записей. В качестве тестового речевого сигнала для оценки эмоционального состояния пациентом произносилась фраза: «Самочувствие нормальное». Получение акустосонограмм высокого частотно-временного разрешения анализируемых биомедицинских сигналов (рис. 2-7) осуществлялось с помощью ПО WaveView-MWA. Оценка уровня эмоциональной напряженности по голосу выполнялась в соответствии с методикой, разработанной автором.

На первом этапе акустографического исследования определяется эмоциональное состояние обследуемого по результатам анализа вейвлет-сонограммы речевого сигнала слова «нормальное» (рис. 4).

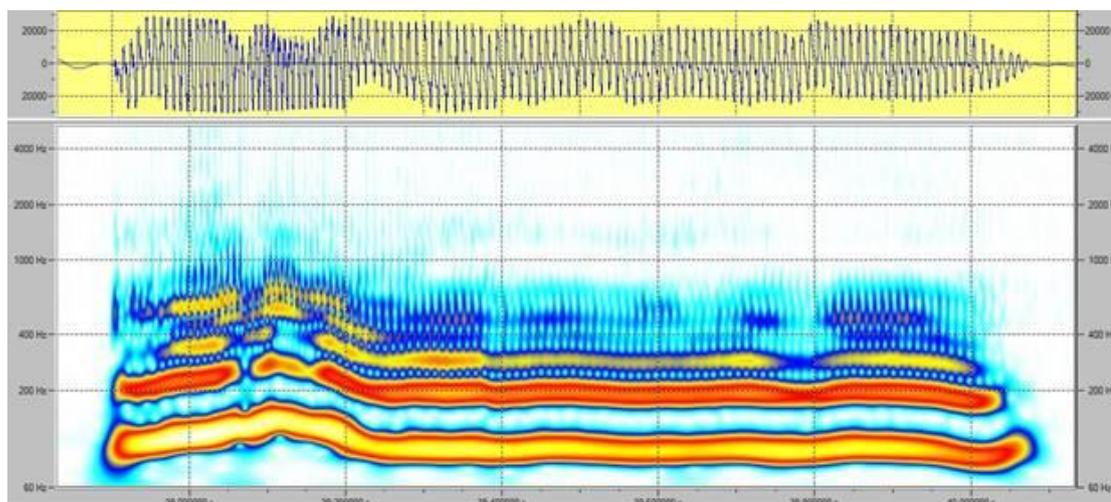


Рис. 4. Вейвлет-сонограмма речевого сигнала слова «нормальное». На тональных участках гласных видна последовательность пульсаций голосовых складок, характеризующих стабильность значения периода основного тона. Степень выраженности состояния эмоциональной напряженности составляет 1 балл (отсутствует).

Используя режим «Звуковой микроскоп» ПО WaveView-MWA, получаем акустосонограммы звуков сердца (рис. 5) и звуков дыхания (рис. 6).

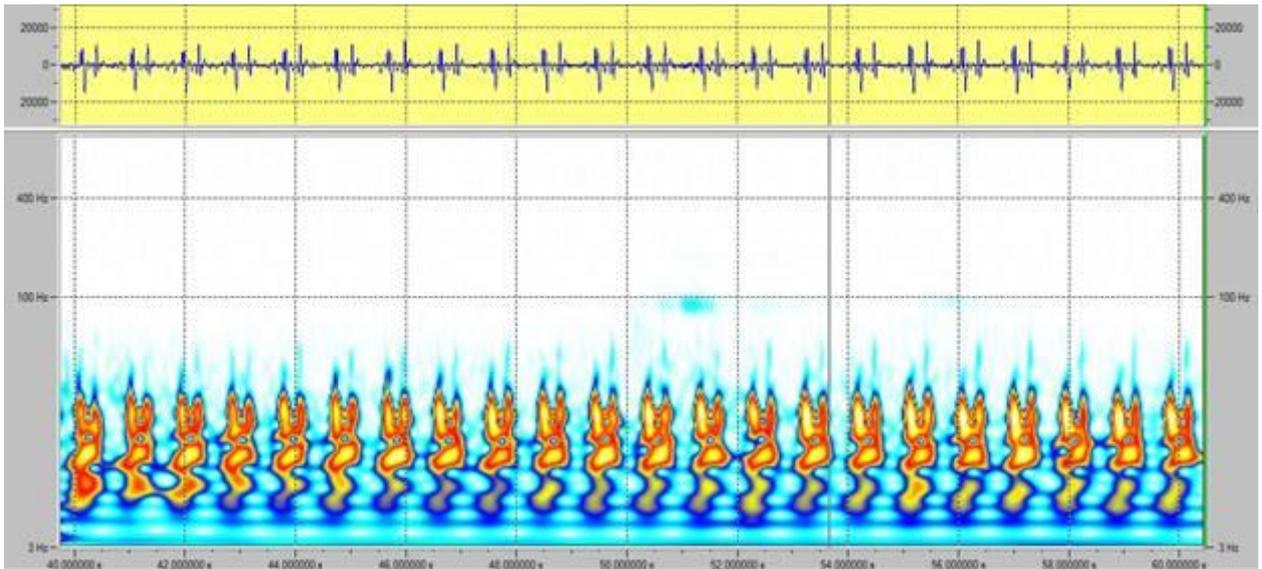


Рис. 5. Акустосонограмма звуков сердца.

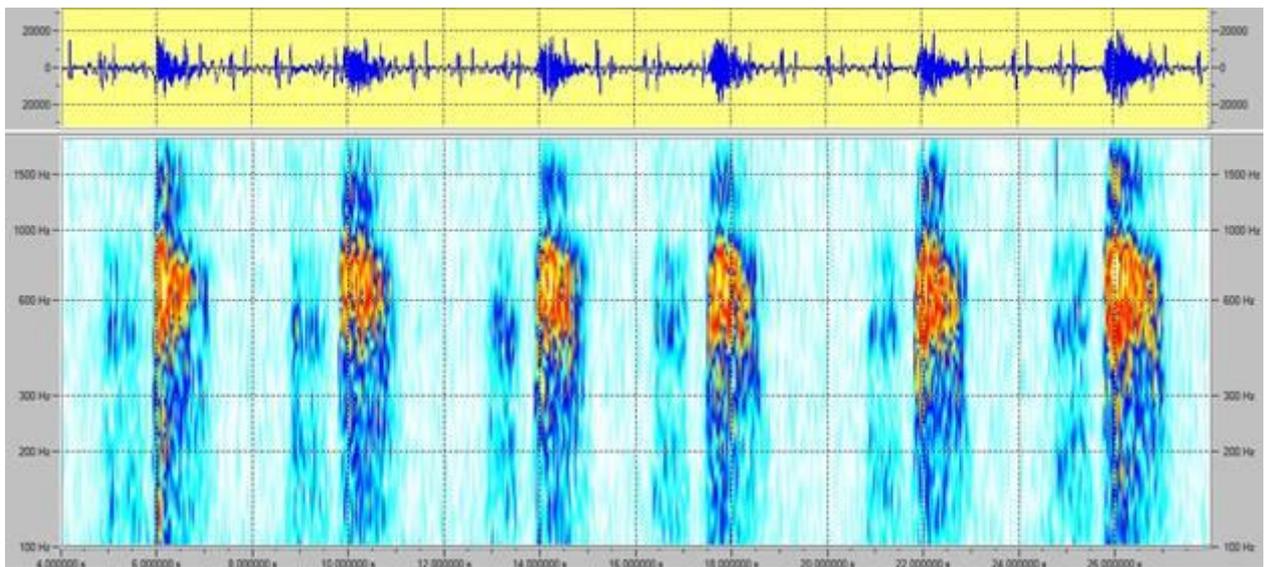


Рис. 6. Акустосонограмма звуков дыхания.

На рис. 7 представлена акустосонограмма звуков сердца с аритмией.

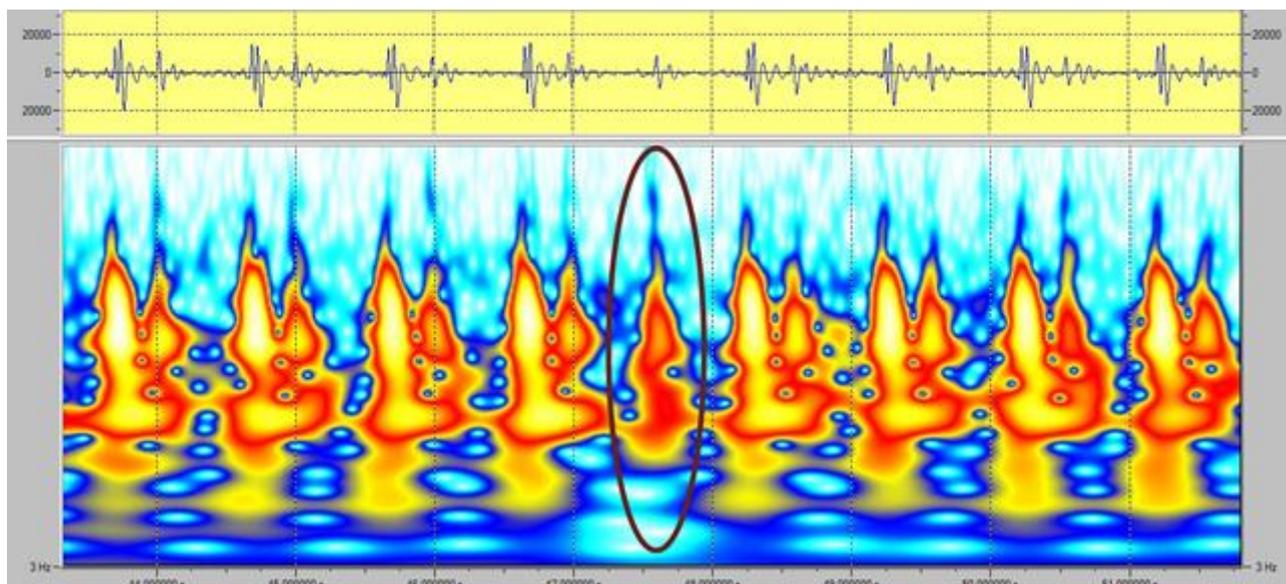


Рис. 7. Акустосонограмма звуков сердца. Выделен участок сигнала с аритмией.

На рис. 8 представлена акустосонограмма звуков сердца с аритмией, полученная в режиме on-line с использованием портала «Акустокард» <http://acustocard.ru>.

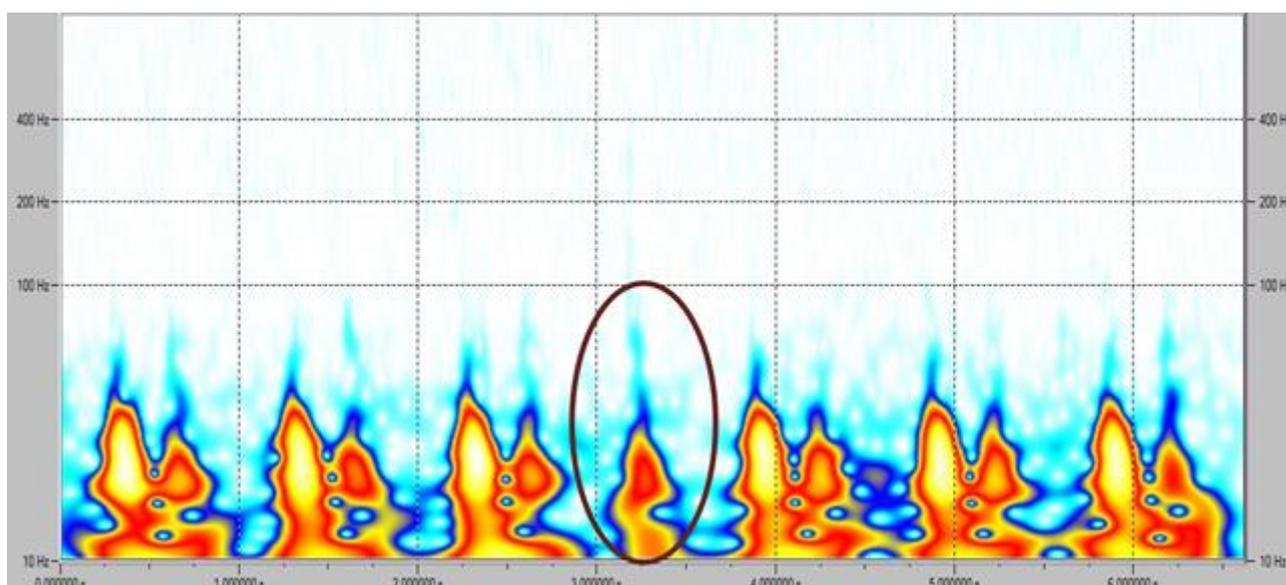


Рис. 8. Акустосонограмма звуков сердца с аритмией, полученная в режиме on-line.

### 3. Система телемедицины «АКУСТОКАРД»

Система телемедицины «АКУСТОКАРД» представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, который позволяет эффективно выявлять ранние стадии сердечно-сосудистых заболеваний [17-19]. Решения, реализованные в системе телемедицины, являются развитием метода ФКГ на базе новых высокоточных технологий обработки звуков сердца и дополняют электрокардиографический (ЭКГ) метод диагностики кардиозаболеваний.

Структура системы телемедицины «АКУСТОКАРД» представлена на рис. 9. Абонентский терминал системы телемедицины «АКУСТОКАРД» включает: прибор для измерения артериального давления и частоты пульса (1); устройство съема акустических сигналов сердца (2); персональный компьютер (3); модуль защиты данных (4); модуль передачи защищенных данных пациента по каналам Интернет на сервер кардиоцентра (5).

В кардиоцентре полученные данные восстанавливаются (6), обрабатываются (7, 8) и в электронную карту пациента вводятся значения артериального давления, частоты пульса, а также акустокардиограмма.

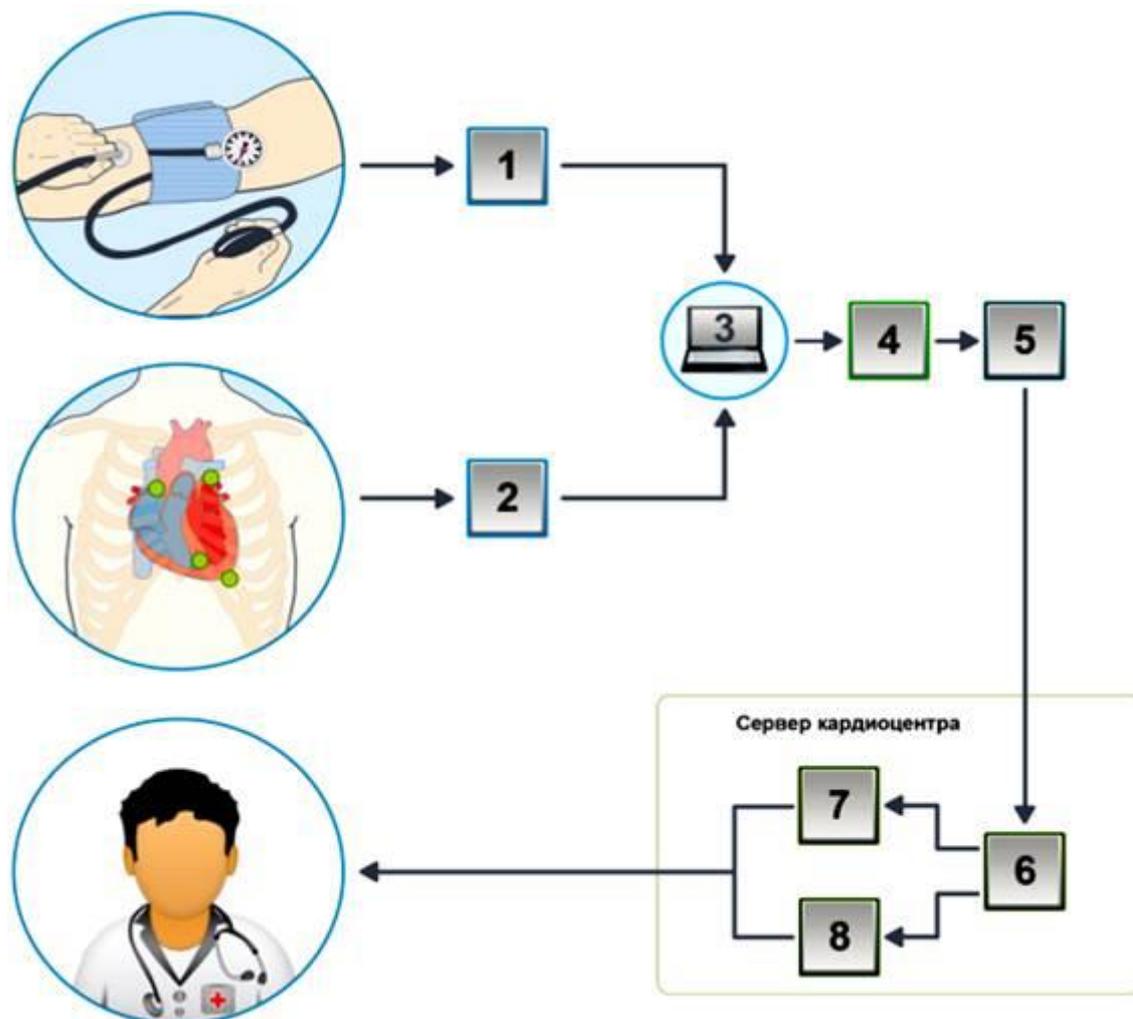


Рис. 9. Структура системы телемедицины «АКУСТОКАРД».

Врач-кардиолог оценивает состояние пациента с учетом полученных данных акустокардиограммы, артериального давления, подготавливает текстовое заключение экспресс-диагностики и вносит материалы в базу данных.

#### 4. Система телемедицины «АКУСТОМЕД»

*Назначение:* экспресс-диагностика состояния сердечно-сосудистой системы человека с целью выявления ранних стадий кардиозаболеваний на основе высокоточного анализа сигналов акустического поля сердца, звуков дыхания, оценки уровня эмоциональной напряженности.

*Применение:* ранняя диагностика заболеваний сердца; оперативный контроль состояния работы сердца для лиц, перенесших операцию на сердце и страдающих хроническими сердечно-сосудистыми заболеваниями; детская и подростковая кардиология; медицина катастроф, военная, авиационная, космическая, морская и спортивная медицина; «домашняя» телемедицина.

Система телемедицины «АКУСТОМЕД» является развитием системы «АКУСТОКАРД», дополнительно обеспечивает получение акустосонограммы звуков дыхания и позволяет оценивать эмоциональное состояние пациента по речи [20-22].

Абонентский терминал системы телемедицины «АКУСТОМЕД» включает: модуль ввода данных артериального давления; устройства съема и модули ввода акустических сигналов сердца, звуков дыхания и речевого сигнала; модули формирования контейнера акустических биомедицинских сигналов (АБС) и предварительной защиты АБС; персональный компьютер.

В кардиоцентре полученные по каналам Интернет данные восстанавливаются, обрабатываются, и в электронную карту пациента вводятся значение артериального давления, уровень эмоциональной напряженности пациента, акустокардиограмма и акусто-сонограмма звуков дыхания. На основании полученных данных врач-кардиолог подготавливает заключение экспресс-диагностики.

Примеры сонограмм речи пациентов с различным уровнем эмоциональной напряженности представлены на рис. 10 и рис. 11.

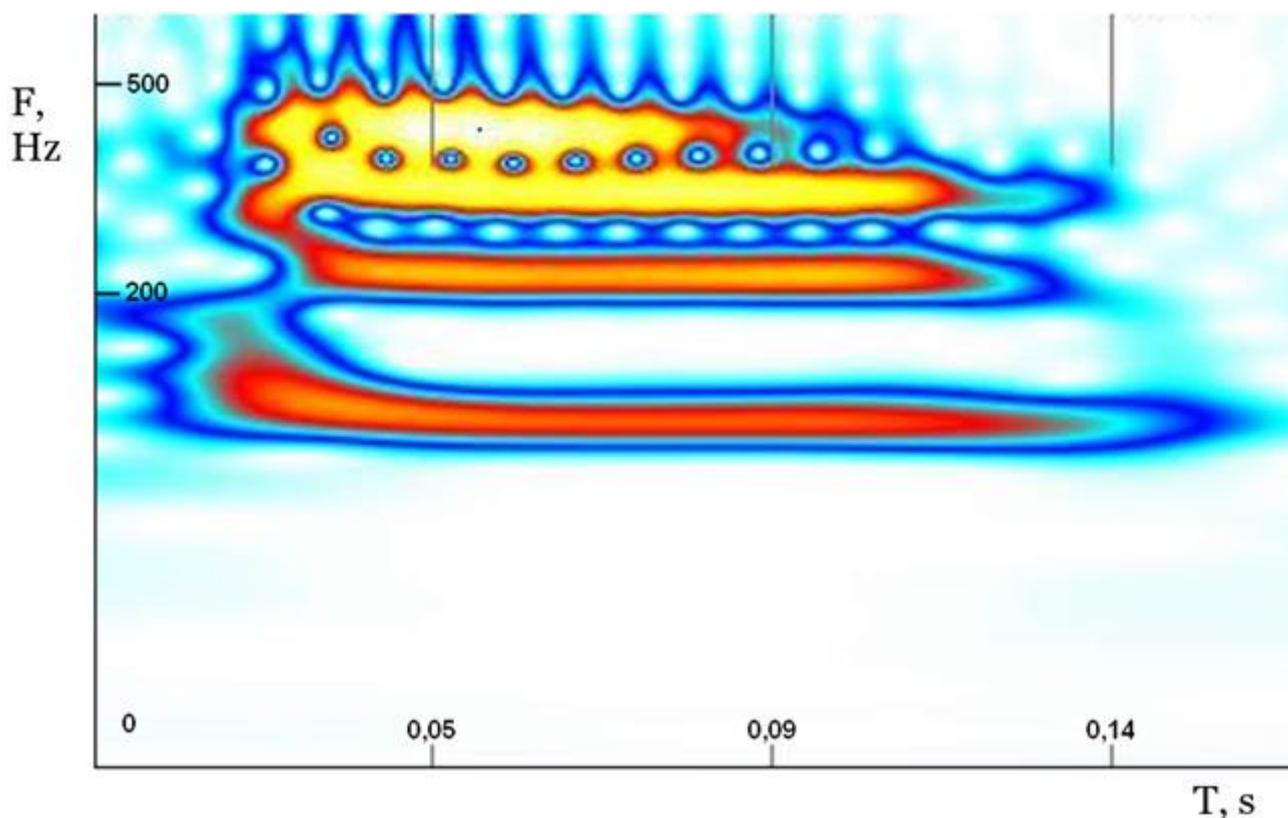


Рис. 10. Сонограмма речи без эмоциональной напряженности пациента.

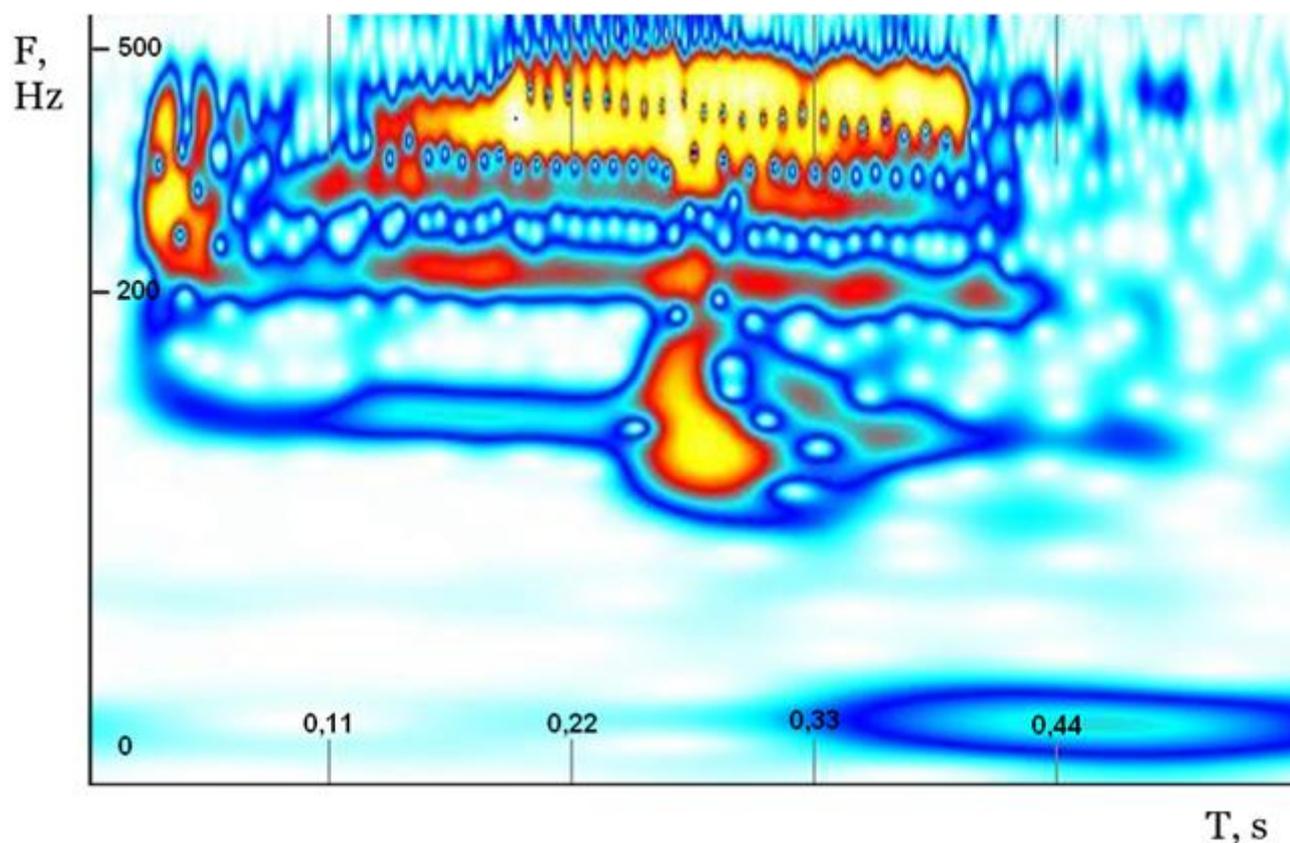


Рис. 11. Сонограмма речи с высоким уровнем эмоциональной напряженности пациента.

#### 4.1 Предварительная защита акустических биомедицинских сигналов

Контейнер АБС формируется с использованием предварительной защиты. Безопасность передаваемых персональных биометрических данных при их передаче по каналу связи осуществляется программными средствами WAVELET-FONE [23]; объем контейнера 1,3 МБ (длительность записи сигналов 1 мин.).

На рис. 12 представлена сонограмма защищенного сигнала звуков сердца, дыхания и речи в полосе частот стандартного телефонного канала 300-3400 Гц. В качестве исходного сигнала использована запись АБС с вейвлет-сонограммой, приведенной ранее (рис. 2).

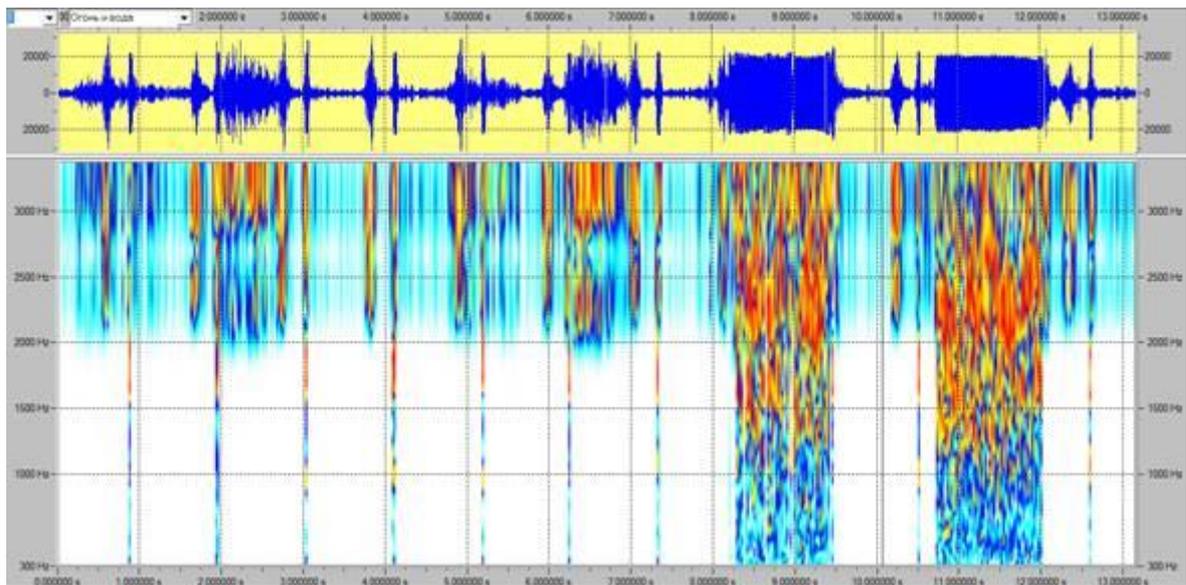


Рис. 12. Сонограмма защищенного сигнала звуков сердца, дыхания и речи в полосе частот стандартного телефонного канала 300-3400 Гц.

На рис. 13 - сонограмма восстановленного сигнала звуков сердца.

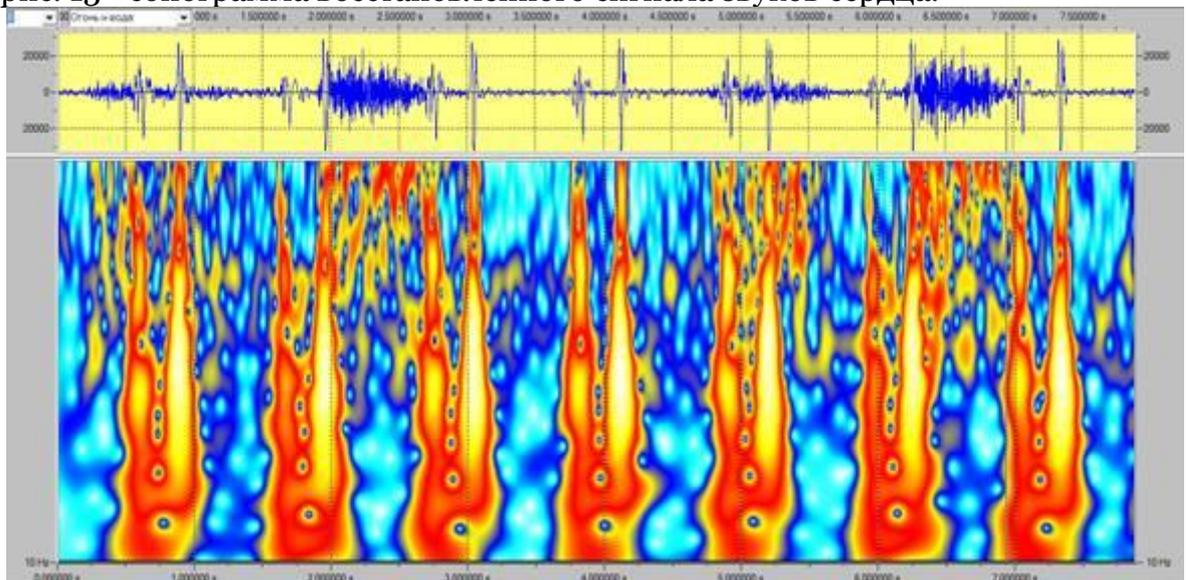


Рис. 13. Сонограмма восстановленного сигнала звуков сердца.

На рис. 14 - сонограмма восстановленного сигнала звуков дыхания.

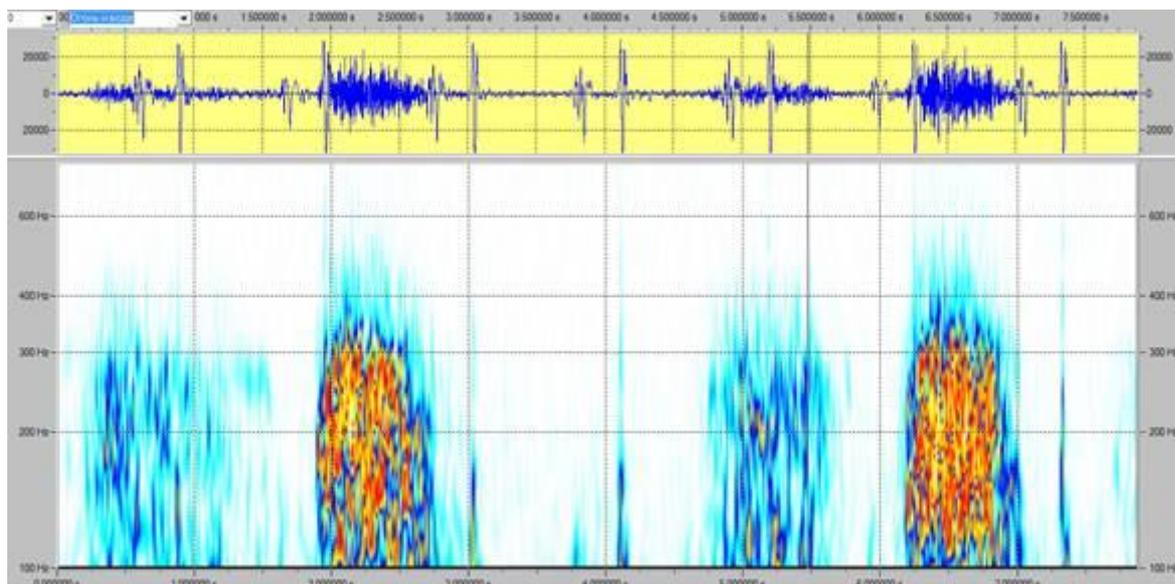


Рис. 14. Сонограмма восстановленного сигнала звуков дыхания.

На рис. 15 - сонограмма восстановленного речевого сигнала.

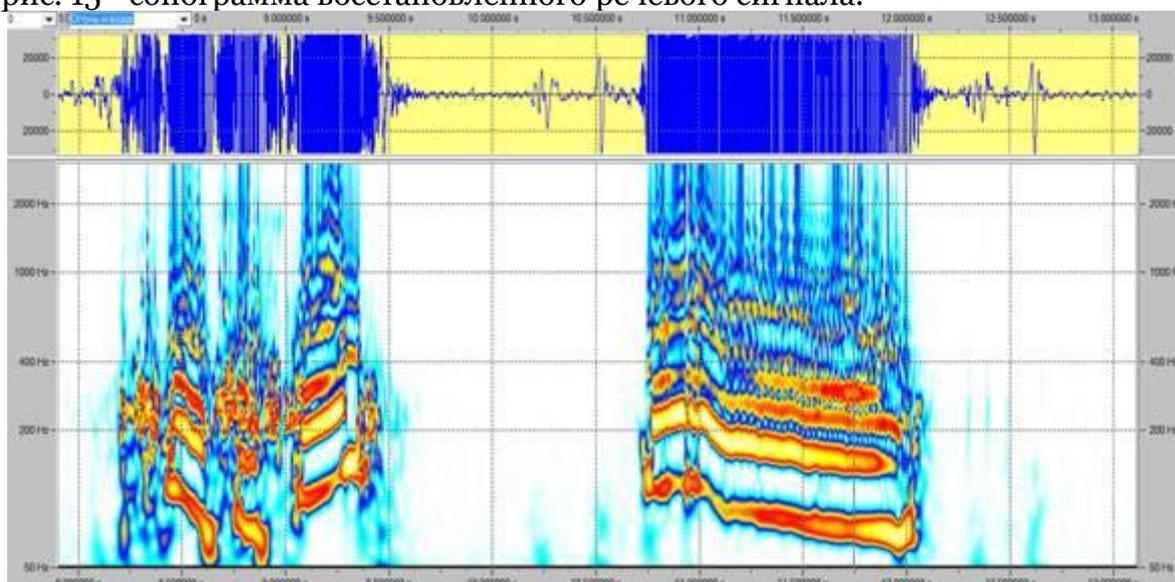


Рис. 15. Сонограмма восстановленного речевого сигнала.

Решения по защите акустических биомедицинских данных с использованием криптографических методов, разработанные для системы телемедицины «АКУСТОМЕД» обеспечивают необходимый уровень стойкости к «взлому» и соответствуют международному стандарту ISO/IEC 24745:2011 от 17 июня 2011 года.

## 5. Заключение

В последние годы, по мнению ведущих кардиологов России и зарубежных специалистов, внедрение в лечебную практику акустокордиографии будет способствовать ранней диагностике желудочковых тахикардий, фибрилляций желудочков, ишемических поражений миокарда и ранней диагностике инфаркта миокарда.

Для разрабатываемых систем телемедицины акустической кардиодиагностики к одному из важных показателей следует отнести точность визуализации биомедицинских сигналов: тонов и шумов сердца, дыхательных шумов, речевых сигналов, характеризующих текущее функционирование сердца, легких и голосового тракта человека. Предложенные новые высокоточные решения визуализации акустических биомедицинских

сигналов на основе многоуровневого вейвлет-анализа обеспечивают высокую эффективность применения систем телемедицины «АКУСТОКАРД» и «АКУСТОМЕД». Применительно к домашней телемедицине, необходимый уровень безопасности персональных биометрических данных при использовании системы «АКУСТОМЕД» может быть обеспечен программными средствами WAVELET-FONE.

## Список литературы

1. Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Юрасова Е.С., Комлев А.Е., Имаев Т.Э. Фонокардиография: новые возможности в свете цифровых технологий. Кардиологический вестник, Том 13, № 2, 2018, С. 15-21. (<https://doi.org/10.17116/Cardiobulletin201813215>)
2. Горшков Ю.Г. Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов. Монография. М.: Радиотехника, 2017. 240 с.
3. Приказ Минздрава РФ от 30 ноября 2017 № 965н «Об утверждении порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий».
4. Никитин В.М., Муромцев В.В., Анохин Д.А. Программно-аппаратный комплекс для фонокардиографических исследований. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика, № 13-1(23), 2012, С. 128-134.
5. Ульянычев Н.В., Перельман Ю.М., Ульянычева В.Ф. Удаленный беспроводной контроль тонов сердца и процесса дыхания. Информатика и системы управления, № 2(40), 2014, С. 173-177.
6. Wen YN, Lee AP, Fang F, Jin CN, Yu CM. Beyond auscultation: acoustic cardiography in clinical practice. Int J Cardiol., Vol. 172, № 3, 2014, pp. 548-560. (<https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.12.298>)
7. Квочкин Д.О., Вереитин В.А. Программно-аппаратный комплекс для проведения дистанционной электронной фонокардиографии. Juvenis scientia, № 3, 2017, С. 4-5. (<https://doi.org/10.15643/jscientia.2017.3.001>)
8. Pyles L, Hemmati P, Pan J, Yu X, Liu K, Wang J, Tsakistos A, Zheleva B, Shao W, Ni Q. Initial Field Test of a Cloud-Based Cardiac Auscultation System to Determine Murmur Etiology in Rural China. Pediatr Cardiol, Vol. 38, № 4, 2017, pp. 656-662. (<https://doi.org/10.1007/s00246-016-1563-8>)
9. Peter Bauer, Patricia Arand, Dragana Radovanovic, Franco Muggli, Andreas W. Schoenenberger et al. Assessment of Cardiac Function and Prevalence of Sleep Disordered Breathing using Ambulatory Monitoring with Acoustic Cardiography – Initial Results from SWICOS. Journal Of Hypertension And Cardiology, Vol. 2, № 3, 2018, pp. 32-46. ([doi:10.14302/issn.2329-9487.jhc-18-1932](https://doi.org/10.14302/issn.2329-9487.jhc-18-1932))
10. Горшков Ю.Г. Акустографическое исследование звуков сердца и легких // Биомедицинская радиоэлектроника, № 2, 2016, С. 16-21.
11. Y.G. Gorshkov. Detection and processing of multilevel acoustic cardiograms // Biomedical Engineering. Springer, Vol. 47, № 1, 2013, pp. 18-21. (doi:10.1007/s10527-013-9325-x)
12. Горшков Ю.Г. Новые цифровые технологии обработки звуков сердца. Биомедицинская радиоэлектроника, № 8, 2013, С. 36-40.
13. Gorshkov Y., Shchukin S. Early Detection of Heart Diseases on the Basis Multilevel Wavelet Analysis of Acoustic Signals. Proceedings X Russian-German conference on biomedical engineering. St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2014, pp. 38-41.
14. Горшков Ю.Г. Визуализация звуков сердца // Научная визуализация, Том 9, № 1, 2017, С. 97-111.
15. Горшков Ю.Г. Визуализация многоуровневого вейвлет-анализа фонограмм // Научная визуализация, Том 7, № 2, 2015, С. 96-111.

16. Горшков Ю.Г. Оценка эмоционального состояния человека на основе многоуровневого вейвлет-анализа речи // Биомедицинская радиоэлектроника, № 10, 2014, С. 64-70.

17. Горшков Ю.Г., Парашин В.Б., Каиндин А.М. Экспериментальная система телемедицины «АКУСТОКАРД». Материалы XX Международной научной конференции «Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов», 24-25 мая 2011 г. С. 494-495.

18. Горшков Ю.Г., Калинин А.Л., Каиндин А.М., Марков А.С., Цирлов В.Л. Защищенная система телемедицины дистанционного выявления ранних стадий заболеваний сердца. Патент на полезную модель RUS 127605. 18.12.2012; Заявка № 2012154801; Бюл. № 13.

19. Горшков Ю.Г. Система телемедицины «АКУСТОКАРД». Материалы VII научно-образовательного форума с международным участием «Медицинская диагностика-2015» и IX Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология - 2015» 26-28 мая 2015 г. Москва. Российский Электронный Журнал Лучевой Диагностики. Russian Electronic Journal of Radiology (REJR), Том 5, № 2, 2015. Приложение, С. 257-258.

20. Горшков Ю.Г. Новые компьютерные средства мониторинга функционального состояния человека. Материалы VI Всероссийской конференции «Функциональная диагностика-2014», 28-30 мая 2014 г.

С. 32-33.

21. Горшков Ю.Г. Новая технология анализа звуков дыхания, храпа и форсированного выдоха. Материалы VIII научно-образовательного форума с международным участием «Медицинская диагностика -2016» и X Юбилейного Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология - 2016» 24-26 мая 2016 г. Москва. Российский Электронный Журнал Лучевой Диагностики. Russian Electronic Journal of Radiology (REJR), Том 6, № 2, 2016. Приложение,

С. 235.

22. Горшков Ю.Г., Марков А.С., Цирлов В.Л., Веряев А.С. Устройство съема и засекречивания акустических биомедицинских сигналов. Патент на полезную модель RUS 155677. 04.06.2015; Заявка № 2015121305; Бюл. № 29.

23. Горшков Ю.Г. Новые решения речевых технологий безопасности. Специальная техника, № 4, 2006, С. 41-47.

# New solutions for visualization of biomedical signals in telemedicine systems

Y.G. Gorshkov

Bauman Moscow State Technical University, Russian Federation

ORCID: 0000-0003-0483-4603, [y.gorshkov@npo-echelon.ru](mailto:y.gorshkov@npo-echelon.ru)

## **Abstract**

This article proposes new solutions for visualization of biomedical signals in development and operation of cardiognostics telemedicine systems. Visual evaluation of bioparameters is based on multilevel wavelet analysis of recorded patient's acoustic signals describing current state of the cardiovascular system, respiratory system and speech system. Proposed visualization solutions are implemented in form of ACUSTOCARD and ACUSTOMED telemedicine systems. Developed ACUSTOCARD telemedicine system being a set of software and hardware tools helps to find any cardiovascular diseases at earlier stages. ACUSTOMED is a further step of ACUSTOCARD telemedicine system, which additionally allows receiving acoustic sonograms of breath sounds and wavelet-sonograms of speech signals to evaluate the level of patient's emotional tension.

Scope of application of ACUSTOMED telemedicine system includes as follows: instant diagnostics of the cardiovascular system; operational monitoring of the heart state for patients after the cardiac surgery; pediatric cardiology; sports medicine; home telemedicine.

Experimental testing of biomedical signal visualization technology in cardiognostics telemedicine systems confirms its high efficiency.

**Keywords:** acoustic cardiography, biomedical signals, multilevel wavelet analysis, telemedicine system.

## **References**

1. Blinova Ye.V., Sakhnova T.A., Yurasova Ye.S., Komlev A.Ye., Imayev T.E. Fonokardiografiya: novyye vozmozhnosti v svete tsifrovyykh tekhnologiy. *Kardiologicheskiy vestnik*, Vol. 13, № 2, 2018, pp. 15-21 [in Russian]. (<https://doi.org/10.17116/Cardiobulletin201813215>)
2. Gorshkov Y.G. Obrabotka rechevykh i akusticheskikh biomeditsinskikh signalov na osnove veyvletov. Monografiya. M.: Radiotekhnika, 2017. 240 p [in Russian].
3. Prikaz Minzdrava RF ot 30 noyabrya 2017 № 965n «Ob utverzhdenii poryadka organizatsii i okazaniya meditsinskoy pomoshchi s primeneniym telemeditsinskikh tekhnologiy» [in Russian].
4. Nikitin V.M., Muromtsev V.V., Anokhin D.A. Programmno-apparatnyy kompleks dlya fonokardiograficheskikh issledovaniy. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika*, № 13-1(23), 2012, pp. 128-134 [in Russian].
5. Ul'yanychev N.V., Perel'man YU.M., Ul'yanycheva V.F. Udalennyy besprovodnoy kontrol' tonov serdtsa i protsessa dykhaniya. *Informatika i sistemy upravleniya*, № 2(40), 2014, pp. 173-177 [in Russian].
6. Wen YN, Lee AP, Fang F, Jin CN, Yu CM. Beyond auscultation: acoustic cardiography in clinical practice. *Int J Cardiol.*, Vol. 172, № 3, 2014, pp. 548-560. (<https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.12.298>)

7. Kvochkin D.O., Vereitin V.A. Programmno-apparatnyy kompleks dlya provedeniya distantsionnoy elektronnoy fonokardiografii. *Juvenis scientia*, № 3, 2017, pp. 4-5 [in Russian]. (<https://doi.org/10.15643/jscientia.2017.3.001>)
8. Pyles L, Hemmati P, Pan J, Yu X, Liu K, Wang J, Tsakistos A, Zheleva B, Shao W, Ni Q. Initial Field Test of a Cloud-Based Cardiac Auscultation System to Determine Murmur Etiology in Rural China. *Pediatr Cardiol*, Vol. 38, № 4, 2017, pp. 656-662. (<https://doi.org/10.1007/s00246-016-1563-8>)
9. Peter Bauer, Patricia Arand, Dragana Radovanovic, Franco Muggli, Andreas W. Schoenenberger et al. Assessment of Cardiac Function and Prevalence of Sleep Disordered Breathing using Ambulatory Monitoring with Acoustic Cardiography – Initial Results from SWICOS. *Journal Of Hypertension And Cardiology*, Vol. 2, № 3, 2018, pp. 32-46. (doi:[10.14302/issn.2329-9487.jhc-18-1932](https://doi.org/10.14302/issn.2329-9487.jhc-18-1932))
10. Gorshkov Y.G. Akustograficheskoye issledovaniye zvukov serdtsa i legkikh // *Biomeditsinskaya radioelektronika*, № 2, 2016, pp. 16-21 [in Russian].
11. Y.G. Gorshkov. Detection and processing of multilevel acoustic cardiograms // *Biomedical Engineering*. Springer, Vol. 47, № 1, 2013, pp. 18-21. (doi:[10.1007/s10527-013-9325-x](https://doi.org/10.1007/s10527-013-9325-x))
12. Gorshkov Y.G. Novyye tsifrovyye tekhnologii obrabotki zvukov serdtsa. *Biomeditsinskaya radioelektronika*, № 8, 2013, pp. 36-40 [in Russian].
13. Gorshkov Y., Shchukin S. Early Detection of Heart Diseases on the Basis Multilevel Wavelet Analysis of Acoustic Signals. *Proceedings X Russian-German conference on biomedical engineering*. St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2014, pp. 38-41.
14. Gorshkov Y.G. Vizualizatsiya zvukov serdtsa // *Nauchnaya vizualizatsiya*, Vol. 9, № 1, 2017, pp. 97-111 [in Russian].
15. Gorshkov Y.G. Vizualizatsiya mnogourovnevnogo veyvlet-analiza fonogramm // *Nauchnaya vizualizatsiya*, Vol. 7, № 2, 2015, pp. 96-111 [in Russian].
16. Gorshkov Y.G. Otsenka emotsional'nogo sostoyaniya cheloveka na osnove mnogourovnevnogo veyvlet-analiza rechi // *Biomeditsinskaya radioelektronika*, № 10, 2014, pp. 64-70 [in Russian].
17. Gorshkov Y.G., Parashin V.B., Kaindin A.M. Eksperimental'naya sistema telemeditsiny «AKUSTOKARD». *Materialy XX Mezhdunarodnoy nauchnoykonferentsii «Informatizatsiya i informatsionnaya bezopasnost' pravookhranitel'nykh organov»*, 24-25 maya 2011. pp. 494-495 [in Russian].
18. Gorshkov Y.G., Kalinkin A.L., Kaindin A.M., Markov A.S., Tsirlov V.L. Zashchishchennaya sistema telemeditsiny distantsionnogo vyyavleniya rannikh stadiy zabolevaniy serdtsa. Patent na poleznuyu model' RUS 127605. 18.12.2012; Zayavka № 2012154801; Byul. № 13 [in Russian].
19. Gorshkov Y.G. Sistema telemeditsiny «AKUSTOKARD». *Materialy VII nauchno-obrazovatel'nogo foruma s mezhdunarodnym uchastiyem «Meditsinskaya diagnostika-2015» i IX Vserossiyskogo natsional'nogo kongressa luchevykh diagnostov i terapevtov «Radiologiya - 2015»* 26-28 maya 2015. Moskva. Rossiyskiy Elektronnyy Zhurnal Luchevoy Diagnostiki. *Russian Electronic Journal of Radiology (REJR)*, Vol. 5, № 2, 2015. Prilozheniye, pp. 257-258 [in Russian].
20. Gorshkov Y.G. Novyye komp'yuternyye sredstva monitoringa funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka. *Materialy VI Vserossiyskoy konferentsii «Funktsional'naya diagnostika-2014»*, 28-30 maya 2014. pp. 32-33 [in Russian].
21. Gorshkov Y.G. Novaya tekhnologiya analiza zvukov dykhaniya, khrapa i forsirovanogo vydokha. *Materialy VIII nauchno-obrazovatel'nogo foruma s mezhdunarodnym uchastiyem «Meditsinskaya diagnostika - 2016» i X Yubileynogo Vserossiyskogo natsional'nogo kongressa luchevykh diagnostov i terapevtov «Radiologiya - 2016»* 24-26 maya 2016 g. Moskva. Rossiyskiy Elektronnyy Zhurnal Luchevoy Diagnostiki. *Russian Electronic Journal of Radiology (REJR)*, Vol. 6, № 2, 2016. Prilozheniye, p. 235 [in Russian].

22. Gorshkov Y.G., Markov A.S., Tsirlov V.L., Veryayev A.S. Ustroystvo s"yema i zasekrechivaniya akusticheskikh biomeditsinskikh signalov. Patent na poleznuyu model' RUS 155677. 04.06.2015; Zayavka № 2015121305; Byul. № 29 [in Russian].

23. Gorshkov Y.G. Novyye resheniya rechevykh tekhnologiy bezopasnosti. Spetsial'naya tekhnika, № 4, 2006, pp. 41-47 [in Russian].