

---

## Системы, сети и устройства телекоммуникаций

---

УДК 004.931

### АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КАРДИОИНТЕРВАЛОГРАММЫ

#### НА ОСНОВЕ ФОНОКАРДИОГРАММЫ

##### **Аед Валид Мохаммед**

аспирант кафедры «Биомедицинские и электронные средства и технологии») ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».  
*E-mail:* walid\_aed@mail.ru.

##### **Исаков Роман Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Биомедицинские и электронные средства и технологии») ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».  
*E-mail:* Isakov-RV@mail.ru.

##### **Сушкова Людмила Тихоновна**

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Биомедицинские и электронные средства и технологии») ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».  
*E-mail:* ludm@vlsu.ru.

##### **Аль-Хайдри Валид Ахмед**

аспирант кафедры «Биомедицинские и электронные средства и технологии») ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».  
*E-mail:* fawaz\_tariq@mail.ru.  
*Адрес:* 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

*Аннотация:* Данная работа связана с исследованием возможности построения кардиоинтервалограмм (КИГ) на основе фонокардиографического (ФКГ) сигнала с целью расширения возможностей применения ФКГ в задачах медицинской диагностики, в частности для оценки variability ритма сердца. Для расширения и повышения информативности метода ФКГ разработан алгоритм вычисления и анализа кардиоинтервалов (КИ) на основе идентификации и обнаружения основных звуков сердца фонокардиографического сигнала (ФКС). Алгоритм выделения компонент ФКС основан на вычислении его нормированной средней энергии. Исследование построения ритмограммы сердца проводится на реальных ФКС, взятых с ресурса [8,16]. Алгоритм реализован в среде MATLAB. Результаты исследований показали возможность применения ФКГ для построения КИГ с высокой эффективностью.

*Ключевые слова:* фонокардиограмма, анализ, сигнал, тон, энергия, кардиоинтервалограммы.

#### **Введение**

Человеческое тело представляет собой сложную динамическую систему, включающую в себя ряд подсистем и процессов. В любой заданный момент времени активными могут быть несколько физиологических процессов. Каждый из них порождает множество сигналов

различных типов. Появление сигналов от тех процессов и систем, которые не являются в данный момент объектами исследования, может рассматриваться как физиологическая помеха. Примером таких помех являются биоэлектрические процессы, развивающиеся в мышцах людей и животных во время различ-

ных двигательных реакций, а также связанные с дыханием, кашлем или вздрагиванием пациента [1]. Подобные помехи приводят к искажениям биоэлектрических сигналов, несущих информацию о функционировании той или иной подсистемы или органа. Отсюда возникает проблема повышения качества, информативности и достоверности функциональной диагностики в медицине.

Как известно, наиболее опасными и распространенными болезнями в настоящее время являются сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ). ССЗ стоят на первом месте среди причин смертности во всем мире. Это обуславливает актуальность научно-практического обоснования и разработки эффективных методов лечения, реабилитации и профилактики и, прежде всего, обеспечение достоверной ранней диагностики заболеваний ССЗ при наличии минимальной симптоматики (жалобы или ощущения больного) [1]. Основными требованиями к таким методам являются простота реализации, информативность и достоверность.

Существует множество методов диагностики ССЗ. Среди них самым распространенным методом является электрокардиография, которая позволяет оценить работу сердца с помощью электрокардиограммы (ЭКГ).

Однако ЭКГ характеризует состояние сердца непосредственно в момент регистрации. Кроме того, в некоторых случаях ЭКГ не отражает все имеющиеся нарушения (например,

наличие шумов сердца), а также требует специальных условий для регистрации.

Хорошим дополнением к электрокардиографии является фонокардиография (ФКГ), позволяющая исследовать и выявлять наличие нарушений в деятельности сердца и его клапанного аппарата. Метод основан на регистрации и анализе звуков, возникающих при сокращении и расслаблении сердца. Этот метод является доступным и относительно легким способом диагностики функционального состояния ССЗ. Источником диагностической информации здесь является фонокардиосигнал (ФКС), метод регистрации которого называется фонокардиографией.

Анализ литературы показывает, что научно-практический интерес к обработке и анализу ФКС с точки зрения его исследования в задачах диагностики ССЗ постоянно растёт, о чем свидетельствует множество научных работ.

Нормальный сердечный цикл содержит два основных звука (тона): первый тон (S1) и второй тон (S2), как это показано на ФКС (рис. 1). Первый тон (систолический) связан с систолой левого и правого желудочков, второй тон (диастолический) - связан с диастолой желудочков [15].

По мнению большинства исследователей, тоны сердца содержат низкие частоты: от 50 до 400—500 Гц, но, в среднем, чаще всего число колебаний для I тона: 30—120 Гц, для II тона: 70—150 Гц. Кроме I и II тонов существуют также III тон (10—70 Гц), IV тон (предсерд-

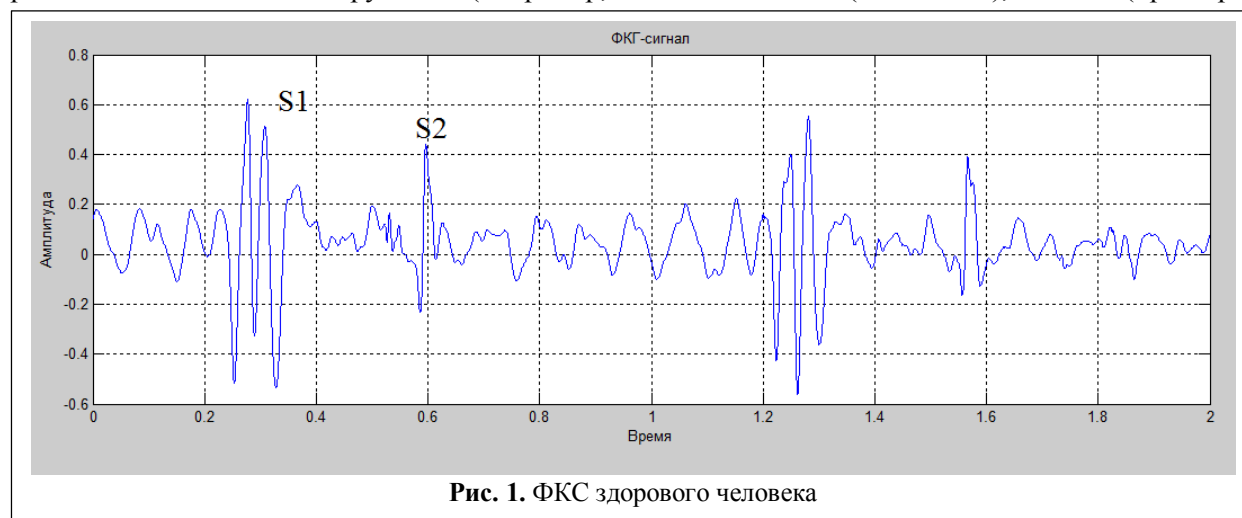


Рис. 1. ФКС здорового человека

ный, 16—35 Гц) и V. Причем, III, IV и V тоны выслушиваются редко. Это объясняется их низкой частотой и малой интенсивностью [3]. В случае патологических изменений тоны могут иметь высокие частоты (до 700—900 Гц и более).

Длительность тонов и шумов сердца определяется отметчиком времени в долях секунды. Анализ результатов записи звуков сердца показывает, что длительность тонов сердца как I, так и II, составляет 0,07—0,15 с (в среднем—0,11 с). Такая длительность звука характеризуется быстрым возникновением и исчезновением и оценивается ухом как «короткая». Длительность шумов различная, но, по сравнению с тонами сердца, она имеет большую продолжительность [3].

Анализ ФКГ по Р.Э.Мазо и М.К. Осколковой включает: а) расчет длительности тонов и выявление добавочных тонов (III, IV, V); б) проведение сравнительной оценки формы и амплитуды I и II тонов в различных точках регистрации; в) выявление расщепления, раздвоения тонов, щелчка открытия митрального клапана и т.д.; г) обнаружение и проведение анализа характеристик шумов сердца в различных диапазонах частот; д) определение соотношения между электрической, механической и электромеханической систолами.

#### Типовая процедура обработки и анализа ФКС

Типовая процедура автоматического анализа ФКС, предназначенная для обнаружения и идентификации тонов и шумов сердца, включает в себя несколько этапов [6]:

1. Предварительная обработка: подготовка ФКС для последующего проведения анализа и, обычно, включает в себя усиление, фильтрацию, нормализацию и аналого-цифровое преобразование;

2. Сегментация: нахождение границ отдельных сердечных циклов в ФКГ сигнале;

3. Анализ тонов: оценка параметров тонов в различных сердечных циклах. На практике иногда используется другая конфигурация си-

стемы автоматического анализа ФКГ, в которой анализ звука может осуществляться до сегментации;

4. Анализ шумов: обнаружение различных шумов, определение их особенностей (например, продолжительность шума в отдельных фазах сердечного цикла) и классификация шумов.

В настоящее время в клинической и профилактической медицине находит все более широкое применение метод математического анализа сердечного ритма (СР) или анализ вариабельности сердечного ритма (HRV, heart rate variability). Данный метод основан на рассмотрении сердечного ритма как случайного процесса, представленного временным рядом кардиоинтервалов, к которому применимы различные методы статистической обработки [5]. Подобный временной ряд содержит информацию не только о сердечной деятельности, но и о деятельности регуляторных систем более высокого порядка, управляющих многочисленными функциями целостного организма [11,12]. Таким образом, использование СР в качестве интегрального показателя процессов регуляции дает возможность оценить состояние адаптации организма в целом и функционирование вегетативной нервной системы [6].

Классический метод фонокардиографии не даёт возможности оценить вариабельность ритма сердца. Для этого требуется синхронная запись ЭКГ [6]. Поэтому в данной работе для повышения и расширения возможности и информативности метода ФКГ разработан метод выделения и анализа кардиоинтервалограммы (КИГ) без параллельной регистрации ЭКГ [6], что позволяет анализировать динамические характеристики ритма сердца. КИГ представляет собой график зависимости продолжительности R-R интервалов (RR-интервалограмма на ЭКГ).

Для построения КИГ, в принципе, может подойти запись любой пульсовой волны (ЭКГ, ФКГ, реограмма, сфигмограмма, фотоплетизмограмма и др.). Однако при анализе ритма сердца необходимо оценить источник водителя

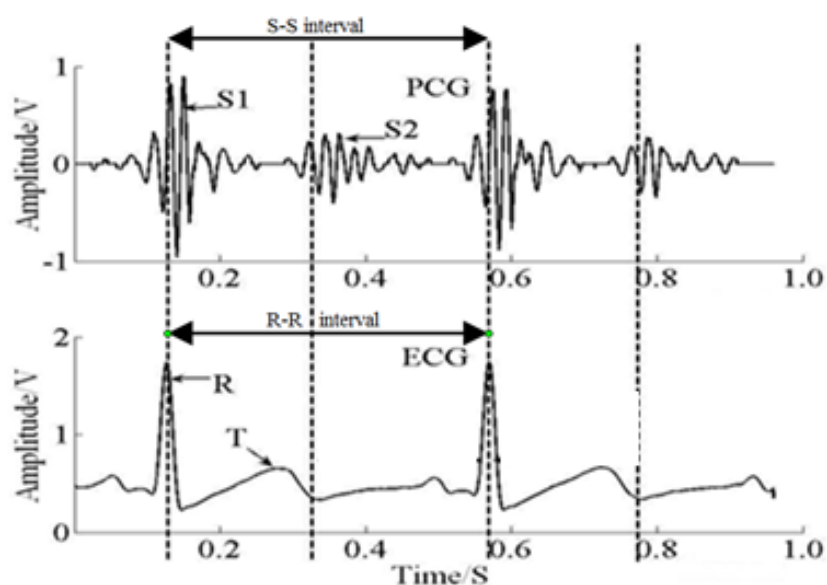


Рис. 2. Совместная запись ЭКГ и ФКГ (нижний и верхний графики соответственно)

ритма. Кроме того, существует понятие "дефицит пульса" (имеется в виду, что в ряде случаев не каждое сердечное сокращение приводит к возникновению пульсовой волны). Именно поэтому [4] для расчета показателей вариабельности ритма сердца по записи пульсовой волны необходимо использовать запись ЭКГ или ФКГ [4].

Сигналы ЭКГ и ФКГ различаются по своей

физической природе, а именно: первый из них - электрический сигнал, а второй - механический (звук, вибрации). Очень часто запись ЭКГ делают одновременно с записью ФКГ [6]. На рис. 2 представлена типичная одновременная запись ФКГ и ЭКГ (верхний и нижний графики соответственно) с обозначенными на ней основными параметрами.

Принцип построения кардиоинтервалограм-

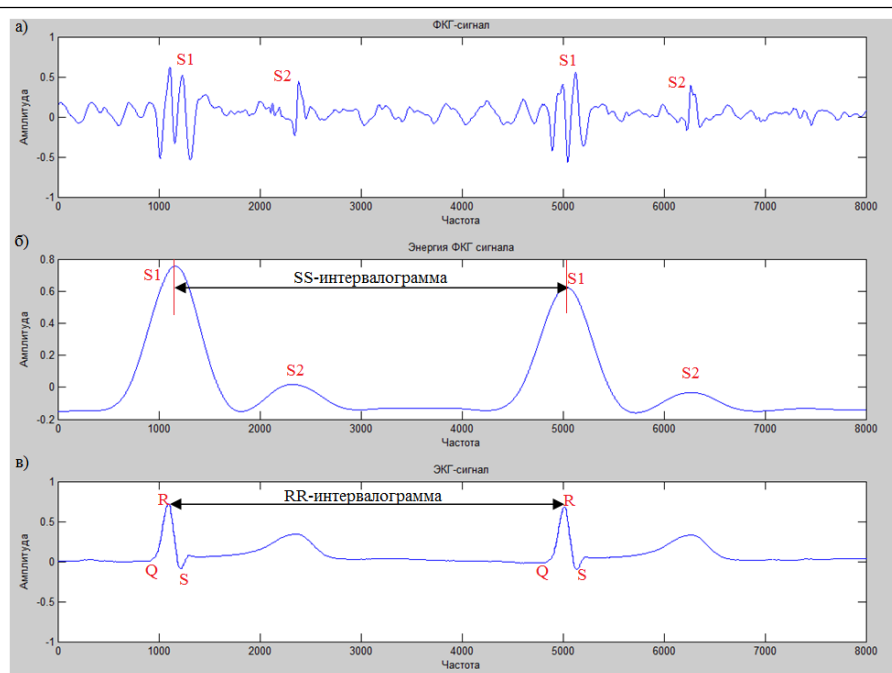


Рис. 3. Принцип построения КИГ: а) исходный ФКС; б) энергия ФКС; г) ЭКГ

мы на основе ФКС иллюстрируется на рис. 3. Здесь представлены записи: ФКС (рис. 3.а) и его энергия (рис. 3.б), ЭКГ (рис. 3.в), а также показаны SS-интервалограмма (рис. 3.б) в соответствии с кардиоинтервалограммой (рис. 3.в) [14]. Энергия ФКС вычисляется в скользящем окне. В выбранном окне производится поиск максимального значения энергии сигнала, соответствующего первому тону S1. На основе полученных значений пиков первого тона S1 вычисляется КИГ (SS- интервалограмма).

### Материалы и методы

Для проведения исследований использовалась база данных фонокардиосигналов, представленных на [8]. База данных содержит в общей сложности 3126 звукозаписей сердца, полученных в клинической и доклинической среде как от здоровых людей, так и пациентов с патологиями, продолжительностью от 5 секунд до 120 и более секунд. Частота дискретизации составляет 2000 Гц.

В данной работе были использованы фонокардиосигналы, зарегистрированные с верхушки сердца. Подобные сигналы отличаются тем, что амплитуда сигнала первого тона больше амплитуды сигнала второго тона [13], что является важным свойством при решении задачи определения первого тона.

Суть алгоритма построения КИГ и ритмограммы заключается в использовании информации об изменении значения энергии сигнала в частотных интервалах фонокардиограммы.

На первом этапе осуществляется предварительная обработка сигнала, которая заключается в нормировании и фильтрации сигнала от шумов, наложенных на фонокардиосигнал.

Фильтрация проводится при помощи фильтров нижних и высоких частот с частотами среза 800 Гц и 25 Гц соответственно. Выбор частотного диапазона фильтрации обусловлен тем, что в данном диапазоне сосредоточена полезная информация ФКГ.

Далее вычисляется энергия сигнала  $E$  в скользящем окне, характеризующая форму

временной локализации звуков сердца и сердечных шумов [4].

Проведенные исследования показали, что усредненная энергия  $E_n$  дает лучшие результаты временной локализации звуков сердца и сердечных шумов по сравнению с удельной энергией:

$$E_n = \frac{E - m}{std}, \quad (1)$$

где  $E$  - энергия сигнала,  $m$  - среднее значение энергии сигнала  $E$ ,  $std$  - стандартное отклонение энергии сигнала  $E$ , а  $E_n$  - усредненная энергия сигнала.

На следующем этапе осуществляется процедура обнаружения первого тона сердца S1. Для этого выбирается окно шириной  $(0,7 * Fs)$  [13], где  $Fs$  – частота дискретизации. Ширина окна составляет 700 мс, что соответствует средней длительности кардиоцикла. В выбранном окне производится поиск максимального значения энергии сигнала, соответствующего первому тону S1. Окно передвигается по всему сигналу от начала до конца для нахождения максимальных значений, носящих информацию о расположении первого тона S1 в каждом кардиоинтервале. В отличие от пороговых методов, данная процедура позволяет исключить попадание всевозможных случайных экстремумов в S-S интервалограмму.

На основе полученных значений пиков первого тона S1 вычисляется КИГ как разница их времен локализации для соседних кардиоциклов (SS- интервалограмма).

### Анализ S-S интервалограммы

Как и в случае для R-R-интервалограммы, для анализа S-S интервалограммы используются различные методы, в том числе статистические и геометрические методы анализа.

К стандартным статистическим характеристикам таких динамических рядов относятся [7]:

- ЧСС (HR), определяемая как количество NN-интервалов в записи, деленное на продолжительность их записи:

$$HR = 60.0 * \frac{n}{\sum_{i=1}^n NN_i(mс)} \left( \text{в } \frac{1}{\text{мин}} \right), \quad (2)$$

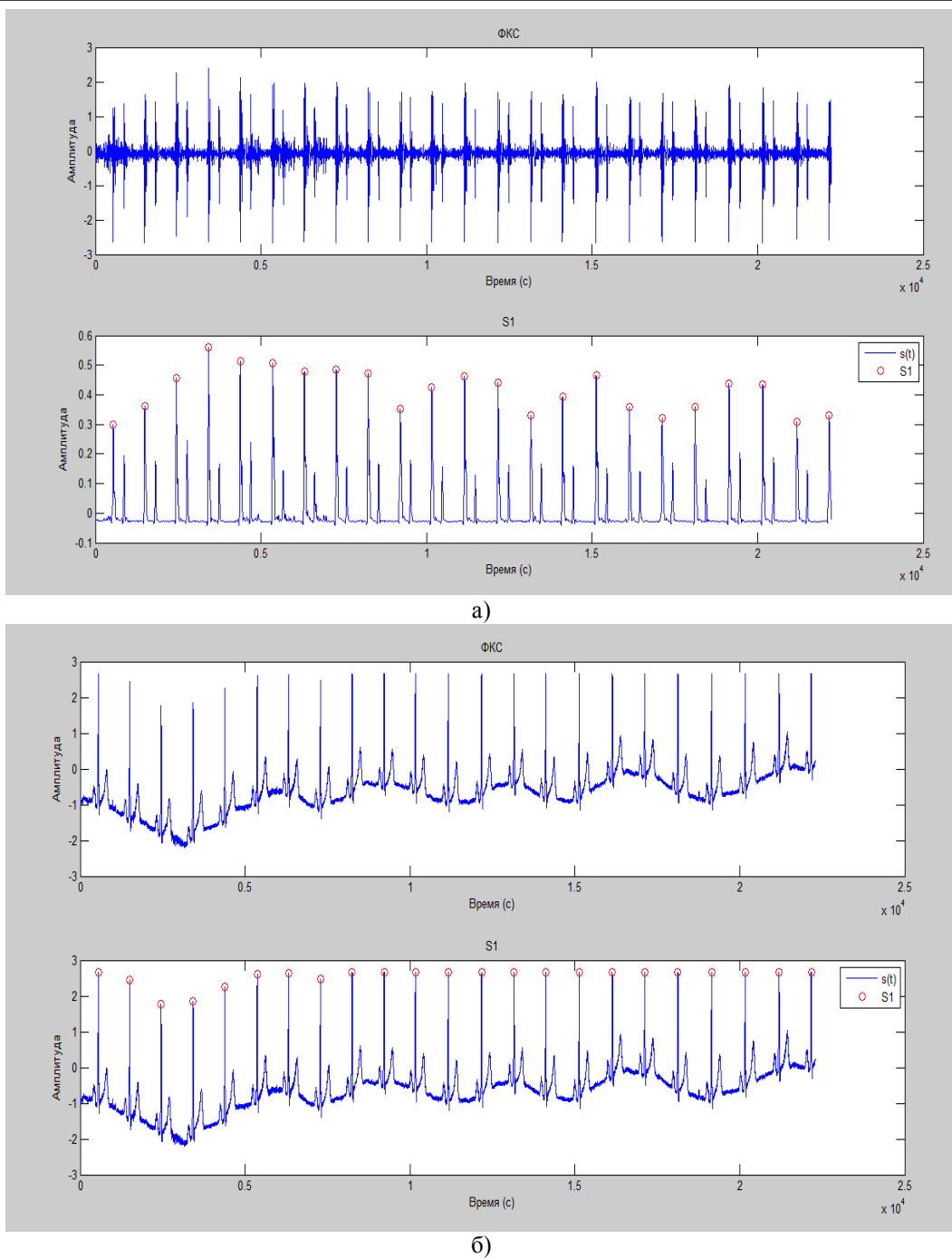


Рис. 4. Точность нахождения: а) S1-тонов на ФКГ и б) R-зубцов на ЭКГ

- среднее значение;
- дисперсия, приравниваемая к своему выборочному (эмпирическому) значению;
- среднеквадратическое отклонение (SDNN), определяемое как корень квадратный из дисперсии.

К стандартным геометрическим характеристикам относится гистограмма и скатерограм-

ма. Гистограмма - графическое изображение сгруппированных значений сердечных интервалов, где по оси абсцисс откладываются временные значения, по оси ординат их количество в процентах [10]. Как несложно заметить, гистограмма показывает распределение значений длительности кардиоинтервалов (КИ) относительно их среднего значения. Это позво-

ляет судить о доминирующих состояниях сердечного ритма.

Корреляционная ритмография (КРГ) – это метод графического представления динамического ряда кардиоинтервалов в виде "облака" (скатерограммы) путем построения ряда точек в прямоугольной системе координат. При этом по оси ординат откладывается каждый текущий S-S интервал, а по оси абсцисс – каждый последующий S-S интервал.

Важным достоинством этого метода является то, что он позволяет эффективно распознавать и анализировать сердечные аритмии.

### Сравнение КИГ, построенных на основе ФКГ и ЭКГ

Необходимым этапом данной работы является верификация разработанного алгоритма, которая заключается в сравнении результатов по-

строения КИГ на основе ФКГ с КИГ, полученной из ЭКГ. Для этого необходимо иметь записи ФКГ и ЭКГ, зарегистрированные синхронно для одного и того же исследуемого. Поскольку в [8] существуют данные только записи ФКГ без дополнительной синхронизации с ЭКГ, было принято решение взять данные из [16], т.к. они содержат синхронные записи ЭКГ и ФКГ. Основные характеристики записей сигналов: количество каналов – 3 (1 канал - ФКГ, 2 канал – ЭКГ, 3 канал - сигнал каротидного пульса), частота отсчетов – 1000 Гц, длительность записи – 23 и 20 секунд, масштаб сигнала – произвольные единицы. На этих данных в ходе решения указанных задач и принятия ряда дополнительных мер на стадии предварительной обработки сигнала удалось получить точность работы алгоритма построения КИГ по ФКГ сигналу, сравнимую с аналогичными

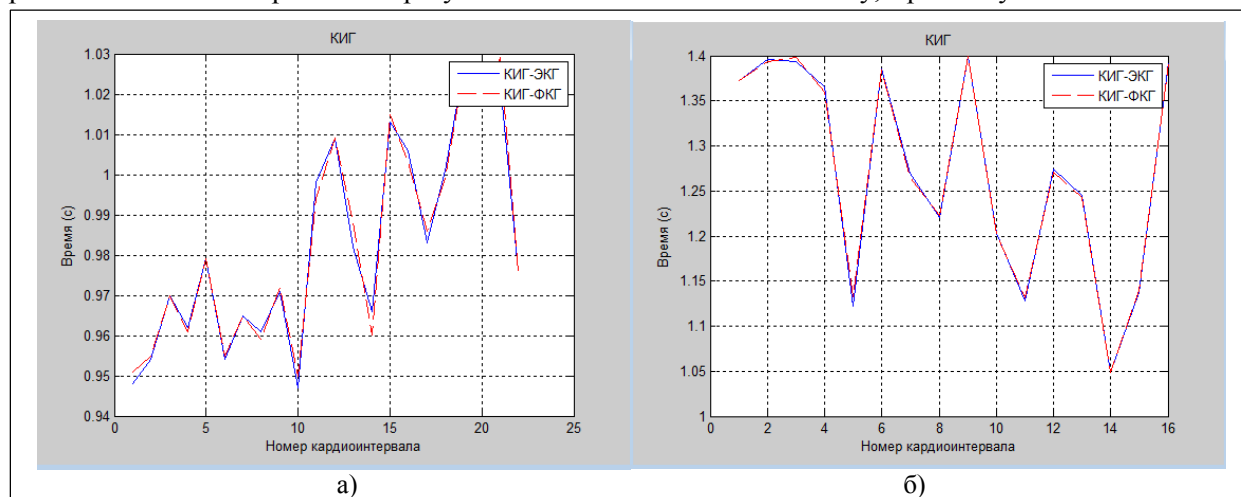


Рис. 5. КИГ, полученные из ФКГ и ЭКГ а) первый исследуемый б) второй исследуемый

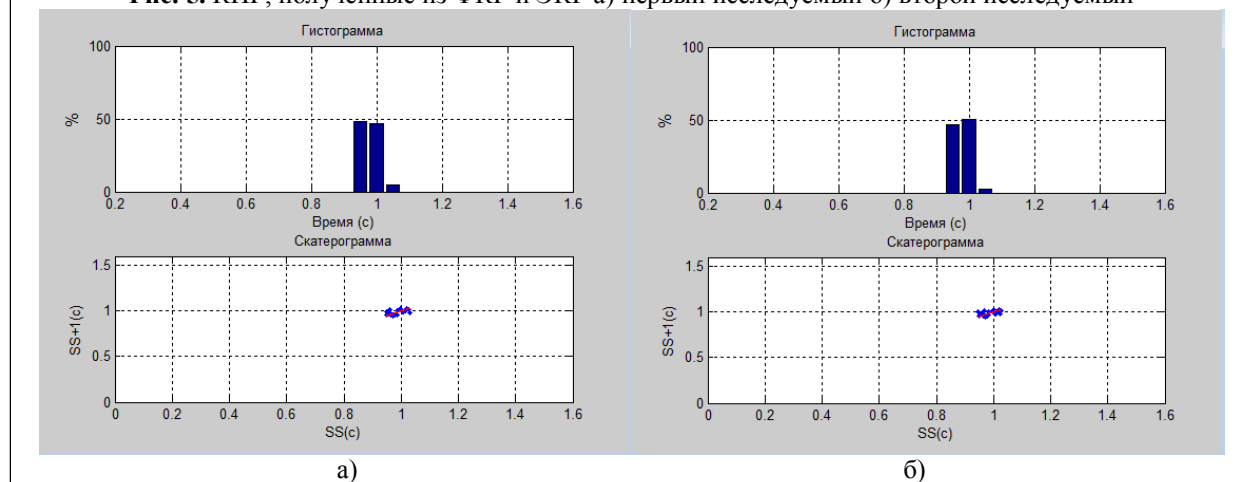


Рис. 6. Гистограммы и скатерограммы на основе КИГ, полученных из а) ФКГ и б) ЭКГ

алгоритмами для ЭКГ сигналов. Результаты сравнения представлены на рис. 4. Точность нахождения R-зубцов на ЭКГ и S-тонов на ФКГ составляла 100%.

Для сопоставления результатов разработанного алгоритма был проведен корреляционный анализ КИГ, полученной из ФКГ, и КИГ, полученной из ЭКГ. Коэффициент корреляции составил порядка 0,99, что подтверждает тесную линейную связь между полученными результатами. Из рис. 5 видно совпадение КИГ, полученной из ФКГ (пунктирная линия), и КИГ, полученной из ЭКГ (сплошная линия). Качественный анализ результатов показывает точность разработанного алгоритма.

Для более подробной оценки был проведен количественный анализ полученных КИГ, построены гистограммы и скатерограммы (рис.6), а также рассчитаны ряд статистических пара-

метров, приведенных в таблицах 1 и 2.

В таблицах 1 и 2 приведены значения параметров для обоих примеров КИГ, а также разница между ними в процентном соотношении. В первом примере разница между значениями средней длительности СР, минимальной длительности СР, максимальной длительности СР, СКО, вариационного размаха и ЧСС составляет менее 0.3 % , в то время как разница между остальными параметрами находится в диапазоне от 3 до 5 %. Для второго примера разница между значениями параметров средней длительности СР, минимальной длительности СР, максимальной длительности СР, вариационного размаха, моды, амплитуды моды и ЧСС стремится к нулю, а для параметров СКО и эксцесса разница составляет 1,3 %.

С точки зрения имеющегося статистического подхода при построении КИГ такое расхождение между ФКГ и ЭКГ сигналами является

**Таблица 1.** Результаты анализа КИГ на основе ФКГ и ЭКГ первого исследуемого

Параметр	ФКГ	ЭКГ	Расхождение
Средняя длительность СР	0.9827	0.9825	0.02%
Минимальная длительность СР	0.9500	0.9470	0.3 %
Максимальная длительность СР	1.0290	1.0260	0.29%
среднеквадратическое отклонение	0.0255	0.0254	0.3 %
ЧСС	61.0930	61.1100	0.02%
мода	0.9500	1	5%
Амплитуда моды	48.1928	50.6024	4.7%
Вариационный размах	0.0815	0.0815	0%
Эксцесс	1.8481	1.7919	3%
Коэффициент корреляции	0.9935		

**Таблица 2.** Результаты анализа КИГ на основе ФКГ и ЭКГ второго исследуемого

Параметр	ФКГ	ЭКГ	Расхождение
Средняя длительность СР	1.2722	1.2721	0.007%
Минимальная длительность СР	1.0480	1.0480	0 %
Максимальная длительность СР	1.3990	1.3990	0%
среднеквадратическое отклонение	0.1172	0.1188	1.3 %
ЧСС	48	48	0%
мода	1.3	1.3	0%
Амплитуда мода	52.6316	52.6316	0%
Вариационный размах	0.3782	0.3822	0%
Эксцесс	1.8343	1.8088	1.3%
Коэффициент корреляции	0.9995		



несущественным. Обработка других фонокардиограмм предложенными методами также давала идентичные результаты, что свидетельствует об устойчивости разработанного алгоритма.

### Заключение

В данной работе исследовалась возможность применения фонокардиографии (ФКГ) для решения задач анализа variability ритма сердца. Классический метод фонокардиографии не даёт возможности оценить variability ритма сердца. Поэтому для расширения функциональных возможностей и повышения информативности метода ФКГ разработан алгоритм выделения и анализа кардиоинтервалов (КИ) на основе соответствующей обработки фонокардиосигнала, включающей процедуру идентификации и обнаружения основных звуков сердца. Исследование построения кардиоинтервалограммы сердца проведено на реальных ФКС, взятых с открытых ресурсов [8,16]. Алгоритм реализован в среде MATLAB. В результате проведенного исследования получена КИГ ФКС, произведен ее анализ. Для анализа S-S интервалограммы использованы различные методы, в том числе статистические и геометрические. К стандартным статистическим характеристикам таких динамических рядов относятся: среднеквадратическое отклонение, дисперсия, ЧСС. К стандартным геометрическим характеристикам относятся гистограмма и скатерограмма. Результаты исследований показали возможность применения ФКГ для построения КИГ с высокой эффективностью.

Полученные результаты могут быть использованы в компьютерных системах ФКГ-диагностики, что позволит повысить эффективность диагностики скрытых патологий сердечно-сосудистой системы, а также при разработке новых систем исследования функционального состояния организма. Перспективой развития данного алгоритма является использование более сложных алгоритмов обработки ФКС, реализация подходов к локализации всех

компонентов фонокрадиографического сигнала и классификации его патологических изменений.

### Литература

1. Актуальность применения Холтеровского мониторирования артериального давления и ЭКГ. Режим доступа: <http://www.incart.ru/text.jsp?id=10473>
2. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. - М.: Наука, 1979. - 296 с.
3. Фонокардиография. Методика фонокардиографии.- <http://meduniver.com/Medical/cardiology/709.html>
4. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. Пер. с франц. — М.: Мир, 1983. — Т. 1. 312 с.
5. Михайлов В.М. Variability ритма сердца. Опыт практического применения метода. - Ивово, 2000. - 200 с.
6. Аед В.М.А., Сушкова Л.Т., Исаков Р.В. Методы сегментации фонокардиограмм (обзор) Изд-во «Радиотехника», Журнал «Научно-технические технологии» №10 за 2015 г. Москва. – С. 72-82.
7. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (анализ «коротких» записей) : метод. рекомендации // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65-87.
8. <https://www.physionet.org/challenge/2016/>
9. <http://www.scienceforum.ru/2013/pdf/6151.pdf>
10. Ардашев А.В., Лоскутов А.Ю. Практические аспекты современных методов анализ ВСП Мед-практика-м. Москва 2010. 64 с.
11. Баевский Р.М., Берсенева А.П., Максимов А.Л. Валеология и проблема самоконтроля здоровья в экологии человека. - Ч.И. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1996. - 55 с.
12. Казначеев В.П., Баевский Р.М., Берсенева А.П. Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения. - Л.: Медицина, 1980.- 208 с.
13. Сердечный цикл и его фазовая структура. Источник: <http://meduniver.com/Medical/>
14. Принцип анализа variability сердечного ритма в MATLAB <https://habrahabr.ru/post/257345/>.
15. <http://www.fesmu.ru/www2/poltxt/u0005/toni%20serdza/ton.serdza.htm#Хлопающий>
16. <http://ftp.ieee.org/uploads/press/rangayyan/>.

Поступила 21 марта 2016 г.

English

### Algorithm of forming cardiointervalogram based on phonocardiogram

Ayed Walid Mohammed - Graduate Student Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov.

*E-mail:* walid\_aed@mail.ru.

**Roman Vladimirovich Isakov** – Candidate of Technical Sciences Associate Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov.

*E-mail:* Isakov-RV@mail.ru.

**Lyudmila Tikhonovna Sushkova** – Doctor of Technical Sciences, Professor Department head Department of Electronics And Medical Equipment/Engineering Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov.

*E-mail:* ludm@vlsu.ru.

**Al-Haydri Walid Ahmed** - Graduate Student Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov.

*E-mail:* fawaz\_tariq@mail.ru.

*Address:* 600000, Vladimir, Gorky st. 87

*Abstract:* Cardiovascular diseases (CVD) come first among the death rate reasons around the world. Therefore scientific and practical validation and development of effective treatment methods, rehabilitation and prevention and, first of all, ensuring CVD reliable early detection with minimum symptomatology (patient's complaints or feelings) is very vital. There are various methods of CVD detection. Electrocardiography (ECG) and phonocardiography (PCG) are most widespread due to high performance, safety and hardware implementation simplicity of these methods. PCG method is based on recording and analysis of sounds arising from heart contraction and relaxation. This method is available and rather easy method for diagnosing cardiovascular system functional status. This research work is connected with possibility investigation to form cardiointervalograms (CIG) based on phonocardiography (PCG) in order to broaden PCG capabilities for medical diagnosis, in particular to evaluate heart rate variability. Cardiointervals (CI) calculation and analysis algorithm is developed for PCG informational content expansion and increase based on identification and detection of phonocardiographic signal (PCS) heart main sounds. PCS component allocation algorithm is based on calculation of its rated mean energy. Research of heart rhythmogram forming is conducted via real PCS taken at [www.PhysioNet.org](http://www.PhysioNet.org) resource. Algorithm is implemented in MATLAB environment. Research results manifested PCG applicability for PCG high performance forming.

*Key words:* phonocardiogram, analysis, signal, tone, energy, cardiointervalograms.

### References

1. Relevance of Holter arterial pressure and ECG monitoring. Access mode: <http://www.incart.ru/text.jsp?id=10473>.
2. Bayevsky R. M. Predicting normal and under pathological conditions. - M.: Nauka, 1979. - 296 p.
3. Phonocardiography. Phonocardiography methods. - <http://meduniver.com/Medical/cardiologia/709.html>.
4. J. Max. Methods and techniques of signal processing in physical measurements: 2 vol. Transl. from Fren. - M.: Mir, 1983. - T. 1. 312 p.
5. Mikhailov V. M. "Variability of heart rhythm. Experience of method operational use ". - Ivanovo, 2000. - 200 p.
6. Ayed V.M.A., Sushkova L.T., Isakov R. V., Methods of phonocardiograms segmentation (overview) Publ. house "Radio engineering", Journal «Naukoyemkiye tekhnologii» No. 10, 2015 Moscow. P. 72-82.
7. Bayevsky, R. M. Analysis of heart rhythm variability when using various electrocardiographic systems (analysis of "short" records): methods recommendations / R. M. Bayevsky, G.G. Ivanov, L.V. Chireykin. - Vestnik aritmologii. - 2001. - No. 24. - P.65-87.
8. <https://www.physionet.org/challenge/2016/>.
9. <http://www.scienceforum.ru/2013/pdf/6151.pdf>.
10. A.V. Ardashev, A.Yu. Loskutov., Practical aspects of modern methods analysis of heart rate variability Med-parktika-m Moscow 2010. 64 p.
11. Bayevsky R. M., Berseneva A.P., Maximov A.L., Valeology and problem of health self-checking in human ecology. - Ch.I. Magadan: SVNTS DVO RAN, 1996. - 55 p.
12. Kaznacheyev V.P., Bayevsky R. M., Berseneva A.P. Prenosological diagnostics during population practical screening programs. - L.: Meditsina, 1980. - 208 p.
13. Cardiac cycle and its phase structure. Source: <http://meduniver.com/Medical/>.
14. Analysis principle of heart rate variability in MATLAB <https://habrahabr.ru/post/257345/>.
15. <http://www.fesmu.ru/www2/poltxt/u0005/toni%20serdza/ton.serdza.htm#Хлопающий>.
16. <ftp://ftp.ieee.org/uploads/press/rangayyan/>.