

300903, г. Тула, пос. Косая Гора, ул. Пушкина, д. 18, кв. 6, тел.: (4872)357813.  
Доцент, к.б.н.

**Khabarova Marina Yurevna**

Tula state pedagogical university by L.N. Tolstoy.

E-mail: physiology@tspu.tula.ru.

Lenin prospect, h. 125, 300026, Tula, Russia, Phone: (4872)357813.

Senior lecturer, Cand. Biol. Sci.

УДК 615.47

**Е.В. Истомина, Б.А. Истомин, А.А. Лавреев, Е.А. Шамин**

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКГ-АНАЛИЗА**

*Рассматриваются вопросы повышения эффективности автоматического ЭКГ-анализа за счет применения оригинальной структуры кардиомониторной системы. Определяются перспективные алгоритмы цифровой обработки ЭКГ.*

*Частотно-временной анализ; электрокардиограмма; кардиомонитор.*

**E.V. Istomina, B.A. Istomin, A.A. Lavreev, E.A. Shamin**

### **PERSPECTIVE DIRECTIONS OF A ELECTROCARDIOGRAM-ANALYSIS**

*In this article questions of increase of efficiency automatic an electrocardiogram-analysis at the expense of application of original structure heartbeat monitoring systems are considered perspective algorithms of digital processing of an electrocardiogram are defined.*

*Time-and-frequency analysis; electrocardiogram; heartbeat monitor.*

С развитием информационно-коммуникационных технологий современные кардиомониторы становятся все более интеллектуальными. В настоящее время в процессе постановки диагноза активно используются все новые возможности: повышается многоканальность снятия электрокардиограммы (ЭКГ), активно развивается поверхностная многоэлектродная электрокардиография, появилась возможность сверхдлительного мониторингирования работы сердечно-сосудистой системы пациента, широко используется векторный ЭКГ-анализ и электрокардиография высокого расширения. Все это требует систематизации всего процесса автоматической обработки электрокардиосигнала (ЭКС) и поиска новых, более эффективных подходов к диагностике сердечно-сосудистых заболеваний по ЭКС.

Всю практику ЭКГ-анализа можно представить как многоэтапный процесс, целью которого является выявление симптомов сердечно-сосудистых заболеваний и устранение их причин. Перечислим этапы этого процесса:

- 1) сбор данных;
  - 2) прямое преобразование данных;
  - 3) обработка данных, включая выделение врачебных информативных признаков и усиление их значимости на основе математического анализа;
  - 4) интерпретация результатов обработки;
  - 5) обратное преобразование данных;
  - 6) оценка степени расхождения входных и выходных данных;
  - 7) принятие диагностического решения.
- Повышение эффективности результатов кардиодиагностики зависит от ме-

тодов и алгоритмов, применяемых на всех перечисленных этапах. Анализ проблемы показал, что наиболее перспективными направлениями ЭКГ-анализа на современном этапе развития являются следующие:

- нечеткий подход;
- многомасштабный (вейвлет) анализ;
- сочетание алгоритмов, работающих в частотной, частотно-временной и временной области.

Для реализации перечисленных подходов авторами предложена структура системы автоматического ЭКГ-анализа, представленная на рис. 1. При получении и обработке электрокардиосигнала (ЭКС) приходится считаться с тем обстоятельством, что полезный сигнал зашумлен помехами, имеющими различное происхождение, интенсивность, спектральные и статистические параметры и т.д. Основными видами помех, проявляющихся на ЭКС, являются: дрейф изолинии, мышечный тремор, сетевая помеха, артефакты движения. Проблема помехоустойчивой обработки ЭКС заключается не только в подавлении описанных выше помех, в зависимости от целей и задач, применяются различные фильтрующие процедуры. Это не всегда фильтры в обычном, классическом понимании, т.е. частотные фильтры, предназначенные для устранения помех, это специальные помехоустойчивые процедуры, имеющие определенные цели. Такие процедуры применяются не только для устранения помех, но и для разделения сигнала на отдельные составляющие [1].

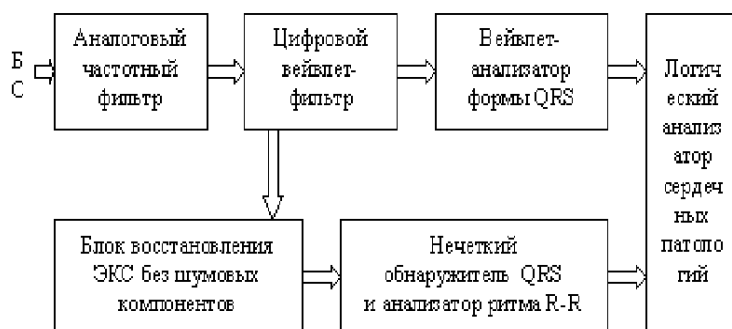


Рис. 1. Структура анализатора ЭКС

Предложенная структура работает следующим образом. Аналоговым фильтром производится предварительная фильтрация ЭКС в частотной области, затем устранение шумовых компонент с помощью вейвлет-преобразования сигнала и его последующего восстановления без некоторых коэффициентов. В структуре сформированы два канала ЭКГ-анализа: идентификация формы производится на основе анализа в частотно-временной области [2], а для анализа ритма используется нечеткая логика, работающая во временной области.

Наиболее важным и сложным этапом обработки электрокардиосигнала является обнаружение и распознавание наиболее информативных участков – QRS-комплексов. Распознавание ЭКС требует принятия решения о принадлежности информативного участка к одному из классов (на основании сопоставления информации относительно каждого конкретного участка с описанием классов [3]).

В блоке «Нечеткий обнаружитель QRS и анализатор ритма R-R» реализован помехоустойчивый алгоритм поиска QRS-комплекса на основе применения аппа-

рата нечеткой логики. При анализе ЭКГ выделяются 4 параметра, используемые контроллером для принятия решения:

- скорость возрастания переднего фронта сигнала (ПФС);
- характер «перегиба» в точке экстремума;
- амплитуда волны;
- длительность сигнала.

Эти параметры в качестве лингвистических переменных подаются на входы контроллера детектирования QRS-комплекса.

Первой лингвистической переменной является «Крутизна подъема», описывающая скорость нарастания переднего фронта, которая характеризуется производной. Исследуется передний фронт (оканчивающийся в точке экстремума), так как Т-зубец также характеризуется крутым нисходящим коленом, что может стать причиной ошибочного результата. Данный параметр характеризуется базовыми элементами терм-множества – «Малая» и «Большая». Для подачи на фазификатор использовано среднеарифметическое значение скорости нарастания фронта.

Для описания характера «перегиба» в точке экстремума используется лингвистическая переменная «Характер точки экстремума», представленная следующими элементами терм-множества – «Плавный» и «Резкий». Для подачи на фазификатор будет использовано среднеарифметическое значение скорости нарастания и спада фронтов сигнала. Но в качестве значений этих скоростей будет использовано среднеарифметическое значение скорости не на всем фронте, а только на участках, равноотстоящих от точки экстремума на интервал, равный  $n$ -шагам дискретизации. Это обусловлено тем, что использование усредненных значений скорости нарастания всего фронта «исключает» случаи, когда возможно плавное начало фронта, но крутое окончание, и наоборот. Опытным путем было установлено, что при частоте дискретизации, равной 100 Гц, вполне достаточно анализировать характер точки экстремума на интервале из 8 дискретных отсчетов.

В качестве сигнала на третий вход контроллера будет использоваться значение лингвистической переменной «Амплитуда», характеризуемая разницей значений уровня сигнала в точке максимума и минимума. Элементы терм-множества – «Малая», «Нормальная», «Большая» и «Очень большая». Пороговое значение является переменной величиной, и зависит от уровня сигнала на входе. Продолжительность сигнала характеризуется лингвистической переменной «Длительность импульса», которая описывает временной интервал от момента «отрыва» от изолинии и до ее пересечения. Этот параметр является приоритетным наряду с предыдущими. Так как R-зубец не отличается большой протяженностью, этим самым он также выгодно отличается от остальных участков ЭКС. Так же, как и значительной крутизной переднего фронта. Описывать данный параметр будем следующими элементами терм-множества – «В пределах нормы» и «Больше нормы». В качестве значения границы между термами используется среднестатистическое значение продолжительности R-зубца. Моделирование работы контроллера проводилось в среде Simulink пакета Matlab с использованием реальных сигналов, полученных при ЭКГ исследовании (рис. 2).

Для подачи на входы использовались следующие обозначения сигналов:

- Р – среднеарифметическое значение производной сигнала на участке «минимум-максимум»;
- $P_e$  – среднеарифметическое значение производной на участке «максимум +/-  $n$ »;
- $A_m$  – амплитуда переднего фронта сигнала;

- $T$  – инвертированное значение времени.

На выходе СНВ, на основе составленных ранее правил, возникает 0 или 1. Параллельно данные поступают на счетчик, подсчитывающий обнаруженных R-зубцов. Данные со счетчика поступают в контроллер значений порогов, который, в свою очередь, согласно заданному алгоритму изменяет лингвистические переменные в первом контроллере до стабильного детектирования R-зубца.

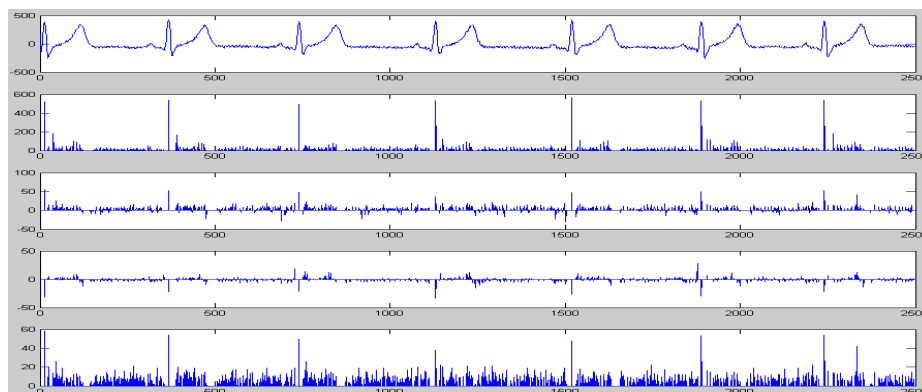


Рис. 2. Графическое представление сигналов  $P$ ,  $Pe$ ,  $Am$  и  $T$

Таким образом, предложенная структура позволяет совместить реализацию наиболее перспективных направлений современного ЭКГ-анализа, что способствует решению проблемы повышения эффективности кардиодиагностики в условиях интенсивных помех и свободной двигательной активности пациентов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход: Пер. с англ. / Под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
2. Истомина Т.В., Чувькин Б.В., Щеголев В.Е. Применение wavelet-преобразования для задач обработки информации. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2002.
3. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

**Истомина Елена Владимировна**

Московский авиационный институт (государственный технический университет).

E-mail: el-ist@mail.ru.

141600, МО, г. Королев, ул. Мичурина, д. 16, кв. 76, тел.: (963)7659175.

Аспирантка.

**Istomina Elena Vladimirovna**

Moscow aviation institute (the state technical university).

E-mail: el-ist@mail.ru.

Michurin's street, 16-766 141600, MA, Korolev, Russia, Phone: (963)7659175.

Post-graduate student.

**Истомин Борис Александрович**

Пензенский государственный университет.

E-mail: bob-magni@yandex.ru.

440039, г. Пенза, ул. Коммунистическая, д. 37, кв. 68, тел.: (960)3254416.

Аспирант.

**Istomin Boris Aleksandrovich**

Penza state university.

E-mail: bob-magni@yandex.ru.

Kommunisticheskaya street, 37-68, 440039, Penza, Russia, Phone: (960)3254416.

Post-graduate student.

**Лавреев Александр Анатольевич**

Московский авиационный институт (государственный технический университет).

E-mail: lavreev@primegroup.ru.

141700, г. Долгопрудный, Личачевский бульвар, д. 13-1, кв. 130, тел.: (925)0100474.

Аспирант.

**Lavreev Aleksandr Anatol'evich**

Moscow aviation institute (the state technical university).

E-mail: lavreev@primegroup.ru.

Lihachevsky highway 13-1, 130, 141700, Dolgoprudnyj, Russia, Phone: (925)0100474.

Post-graduate student.

**Шамин Евгений Анатольевич**

Пензенская государственная технологическая академия.

E-mail: pochayashik@mail.ru.

440056, г. Пенза, ул. Колышлейская, д. 50, кв. 1, тел.: (903)3235451.

Аспирант.

**Shamin Evgeniy Anatol'evich**

Penza state technological academy.

E-mail: pochayashik@mail.ru.

Kolyshleyskaya Street, 50-1, 440056, Penza, Russia, Phone: (903)3235451.

Post-graduate student.

УДК 615.47

**Л.И. Калакутский, А.А. Федотов**

**ДИАГНОСТИКА ДИСФУНКЦИИ СОСУДИСТОГО ЭНДОТЕЛИЯ  
МЕТОДОМ КОНТУРНОГО АНАЛИЗА ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ**

*Рассматривается метод обработки сигнала периферической артериальной пульсации для определения показателей функции сосудистого эндотелия. Разработана модель состояния сосудистого русла, позволяющая описать изменения эластических свойств при разных патологических состояниях. Определена зависимость изменения показателей эластичности магистральных сосудов при возрастном тренде, совпадающая с клиническими наблюдениями и физиологическими данными.*

*Пульсовая волна; дисфункция эндотелия; показатель эластичности.*

**L.I. Kalakutskiy, A.A. Fedotov**

**DIAGNOSTICS OF ENDOTHELIAL DYSFUNCTION BY THE METHOD OF  
CONTOUR ANALYSIS OF PULSE WAVE**

*Method of signal processing peripheral arterial pulsation to determine the performance of vascular endothelial function is considered. Model of the vascular bed, allowing to describe the change of elastic properties under different pathological conditions is developed. The dependence*