

Н.Е. СЕРГИЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
А.Н. МАРЕНИЧ, асп. НТУ «ХПИ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КАРДИОСИГНАЛОВ ВОДИТЕЛЯ В ВИРТУАЛЬНОМ КАРДИОГРАФЕ

В статье проведен сравнительный анализ существующих методов математической обработки кардиосигналов водителя транспортного средства, выбран наилучший метод анализа, основанный на вейвлет преобразовании

У статті проведений порівняльний аналіз існуючих методів математичної обробки кардиосигналів водія транспортного засобу, вибраний якнайкращий метод аналізу, заснований на вейвлет перетворенні

This article deals with comparative analysis a nowadays vehicle drivers ECG processing methods. Proposed analyzing system which processing is based on wavelet signal processing.

Универсальность, высокая скорость работы, возможность хранения большого объема информации и относительно низкая стоимость компьютеров, позволяет разрабатывать на их базе виртуальные многофункциональные измерительные приборы. Особенно актуальна тема использования технологии виртуальных приборов в функциональной диагностике. Стоимость медицинского оборудования растет, стоимость компьютеров постоянно снижается. Применения технологий построения виртуальных приборов позволит разработчикам использовать эти обстоятельства в интересах здоровья людей [1].

Цель статьи. С использованием технологий LabVIEW разработать одноканальный виртуальный кардиограф, определить наилучшие методы анализа кардиосигнала.

Постановка проблемы. На сегодняшний день, большинство средств для регистрации кардиограммы оснащены функций автоматической постановки диагноза, но уровень достоверности таких диагнозов остается достаточно низким. Развитие современной компьютерной техники позволяет повысить информативность анализа, путем исследования сигнала во временно-частотной области.

Сигнал кардиограммы представляет собой разность потенциалов, возникающую, вследствие работы сердца человека. Кардиограмма регистрируется с помощью металлических пластин, которые накладываются на определенные участки тела человека. Так в зависимости от того, с каких участков тела снимается кардиограмма, различают несколько отведений кардиограммы от тела человека.

Наиболее часто для анализа всех характеристик кардиосигнала используют первое стандартное отведение, т.е. потенциалы регистрируются с правой и левой руки человека. Кардиосигнал несет в себе информацию обо всех процессах, происходящих в сердце, эта информация находится в 6 зубцах кардиограммы и 5 интервалах (рис. 1). Исследование величин амплитуд и интервалов позволяет докторам установить диагноз пациента.

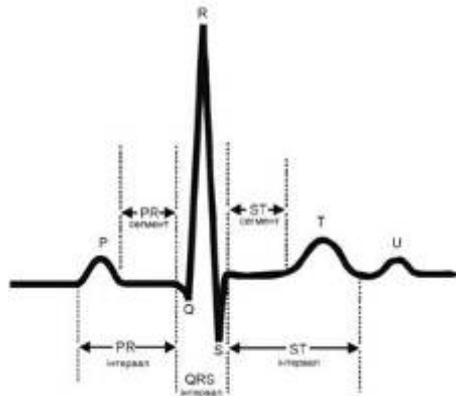
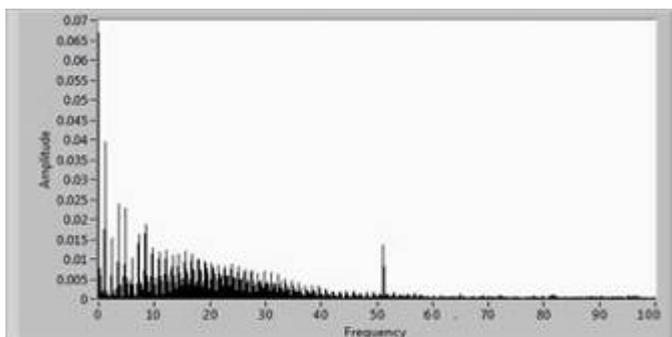


Рисунок 1 – Временные и амплитудные характеристики кардиосигнала

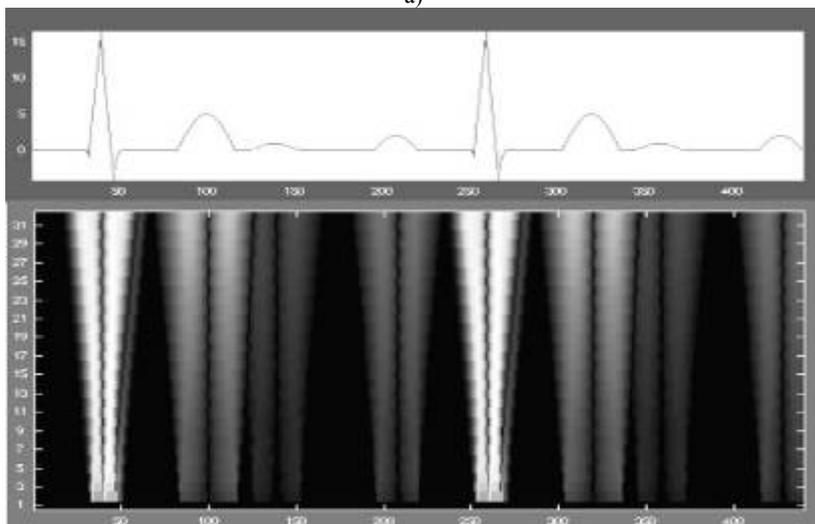
Кроме так называемого «классического» метода, в современной кардиологии также применяются методы цифровой обработки сигналов, основанные на математических преобразованиях сигнала. Так выделяют спектральный анализ сигнала (рис. 2, а), метод, основанный на вейвлет преобразовании (рис. 2, б), а также геометрический метод, основанный на построении хаосограмм (рис. 2, в) [2].

Методика спектрального метода основывается на преобразовании кардиоритма на простые гармонические колебания (быстрое преобразование Фурье) с различной частотой. При этом последовательность сердечных сокращений преобразуется в спектр мощности колебаний длительности интервалов RR, представляющих собой последовательность частот, характеризующих кардиосигнал. При спектральном анализе кардиосигнала по степени изменения показателей спектра можно судить об уровне адаптационных возможностей организма [3].

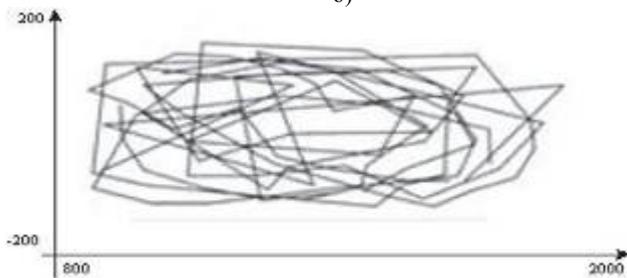
В последнее время, Вейвлет-преобразование стало мощной альтернативой преобразованию Фурье в ряде медицинских приложений благодаря хорошей приспособленности к анализу нестационарных сигналов (то есть таких, чьи статистические характеристики изменяются во времени). Так как электрокардиограмма является нестационарным сигналом, вейвлетные методы могут использоваться для распознавания и обнаружения ключевых диагностических признаков [3].



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Цифровые методы обработки кардиограммы:
а – спектральный анализ сигнала; б – метод, основанный на вейвлет преобразовании; в – геометрический метод, основанный на построении хаосограмм.

Геометрический метод анализа нелинейных хаотических колебаний кардиоритма на сегодняшний день является одной из новейших методик анализа кардиосигналов. Основной принцип метода – уход от статистических приемов обработки последовательности RR интервалов и исследование кардиосигнала с помощью геометрических методов. Метод основывается на теории динамического хаоса.

Нелинейная динамика сердечного ритма определяется путем построения ломаной линии на фазовом пространстве ряда RR-интервалов. Для нормального состояния характерна гармоничная «паутинообразная» картина хаосограммы.

При наличии дисбаланса системы картина будет значительно меняться. Типичным признаком является появление запредельных циклов, уходящих за пределы ядра хаосограммы, редуцирование хаосограммы, при которой видна четкая нехаотическая динамика - определяются очертания правильных многоугольников [3].

Для реализации данных методов в виртуальном проборе, был разработан одноканальный виртуальный электрокардиограф. Структурная схема такого прибора состоит из первичных преобразователей (пластинчатых электродов), масштабного преобразователя (усилителя), АЦП, микроконтроллера, а также персонального компьютера со специальным ПО (рис. 3). Была разработана электрическая схема, а также создан алгоритм работы кардиографа, на основании которого была написана программа в LabVIEW.

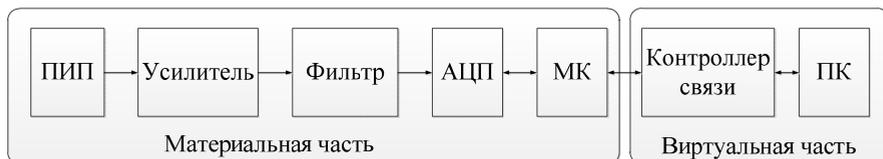
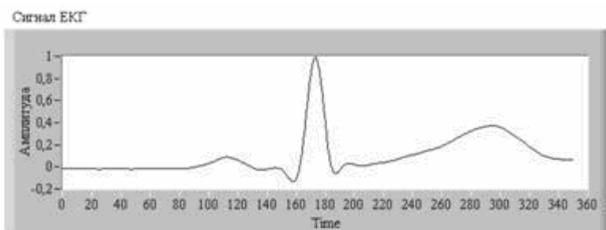


Рисунок 3 – Структурная схема виртуального электрокардиографа

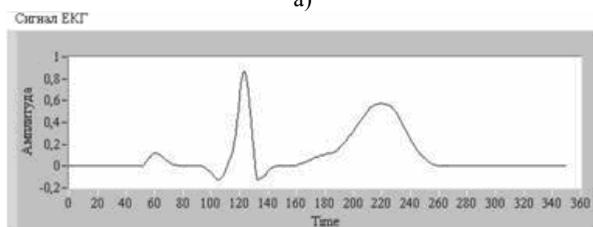
Для анализа были использованы три различных сигнала (рис. 4), один из них сигнал здорового человека, два других, сигналы людей с сердечными заболеваниями. С помощью классического метода анализа, были рассчитаны амплитуды информативных зубцов, а также их интервалы. Согласно принятым нормам, амплитуды и интервалы зубцов не выходят за допустимые пределы.

Был также проведен спектральный анализ сигналов (рис. 5, А), а также анализ, основанный на вейвлет преобразовании сигналов (рис. 5, Б).

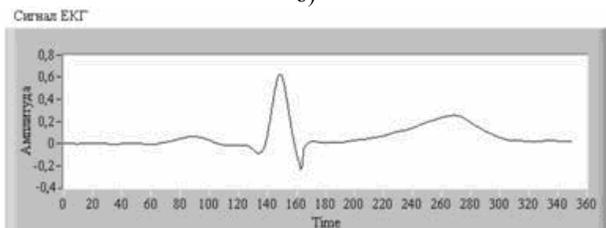
Так на рис 5 а и б представляют спектр условно-нормальных кардиограмм – несколько четко выраженных гармоник, кратных основной частоте – частоте пульса, и на более высоких частотах – сплошной спектр, характерный для хаотических сигналов. Как видно сигнал б имеет доминирующую составляющую на уровне 2,5 Гц, что может быть показателем возможного нарушения сердечного ритма. Эту информацию подтверждает и вейвлет преобразование рис. 5 б.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Исследуемые сигналы

Но такой вариант отображения информации не является информативным, необходимо представить данный сигнал в виде трехмерного графика. В LabVIEW была разработана программа, которая отображала вейвлет преобразование на 3-х осевом графике рис. 6.

Для анализа такого сигнала, необходимо анализировать площади под кривыми. Для этого необходимо проанализировать сигнал на n ступенях разложения сигнала $N=(0-128)$ (рис. 6).

Теперь проанализируем сигналы, согласно полученных результатов вейвлет преобразования. Анализ будет базироваться на сравнении сигналов с аномалиями с сигналом здорового человека. Так можно отметить, что сигнал б от сигнала а существенно отличается в S и R сегменте, т.е. $S(R)_A < S(R)_B$, а также $S(S)_A < S(S)_B$, это может быть вызвано, повышенной концентрацией калия в крови, что резко увеличивает разницу потенциалов между потенциалами покоя и работы, и резко увеличивает клеточную активность, это признаки заболевания на умеренную гиперкалемию.

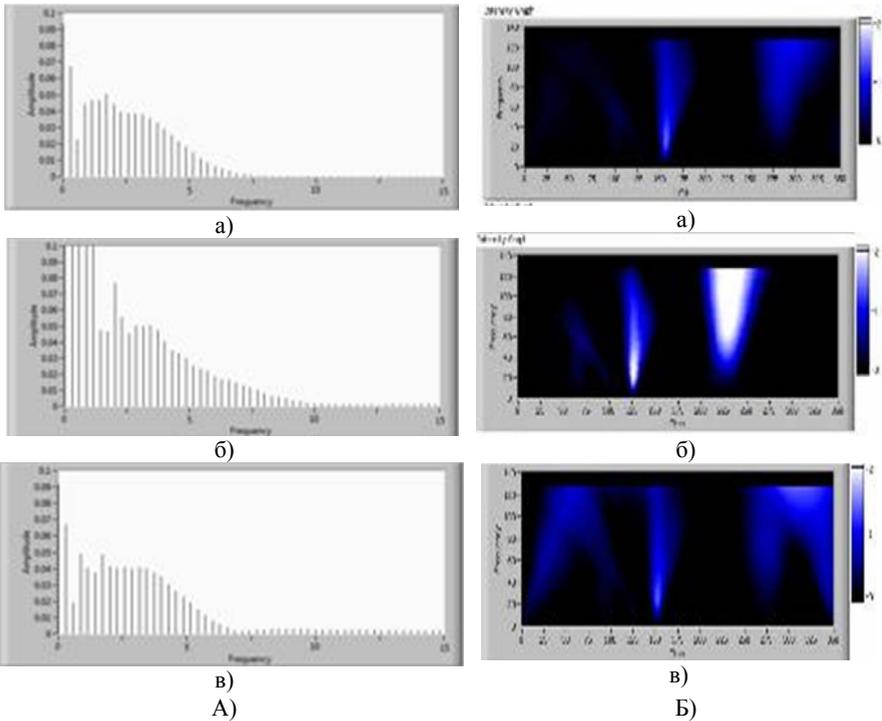


Рисунок 5 – Цифровой анализ кардиосигнала:

- а – сигнал здорового человека; б – сигнал человека с симптомами гиперкалемии;
- в – сигнал человека с отклонением электрической оси сердца вправо;
- А – спектральное преобразование сигнала, Б – вейвлет преобразование сигнала.

Сигнал в, от сигнала а он существенно отличается также в S и R сегменте, т.е. $S(R)_A > S(R)_B$, а также $S(S)_A < S(S)_B$, это может быть вызвано смещением электрической оси сердца вправо, причиной этого может быть: гипертрофия правого желудочка, блокада правой ножки пучка Гиса, боковой инфаркт миокарда, синдром WPW [4].

Применение метода вейвлет преобразования выявило большую часть нарушений в работе сердца, чем классический метод и метод спектрального анализа. Также следует отметить, что метод спектрального анализа, также показал отклонение в сигнале б, но данный метод как и метод хаосограмм, по нашему мнению более действенный при анализе больших по объему кардиосигналов, например при анализе кардиограмм, которые регистрировались в течении суток, или больше. Для дальнейшей работы, необходимо создать базу данных с амплитудами каждого зубца кардиограммы и соответственно допуском частоты, которая может вызвать такую форму и амплитуду зубца. Это позволит с большей точностью

устанавливать диагноз пациентам, а также поспособствует дальнейшему изучению процессов работы сердца.

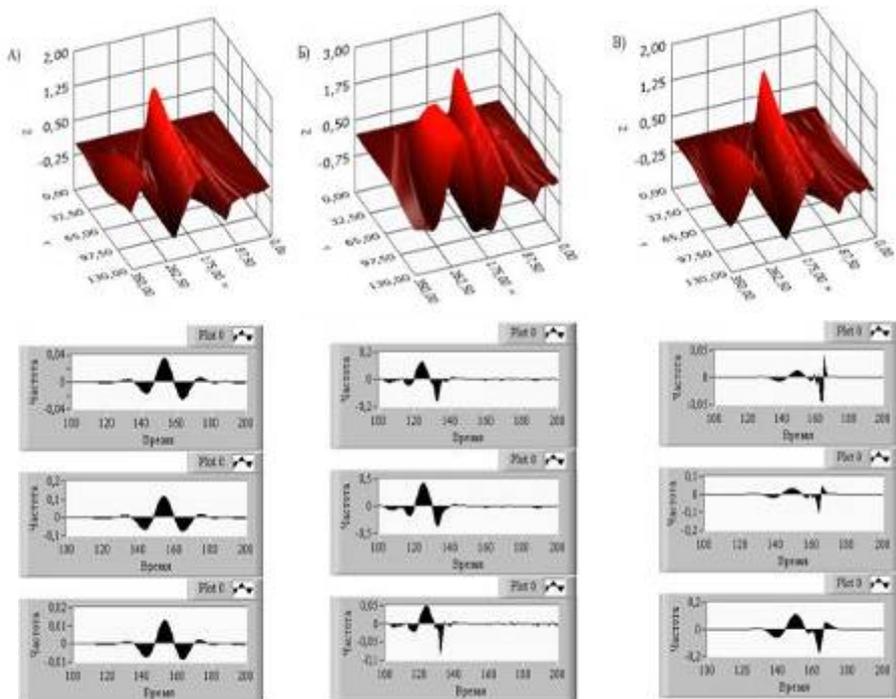


Рисунок 6 – Вейвлет преобразование в LabVIEW

Разработанный прибор и приведенные методы обработки, могут использоваться в медицинских учреждениях в качестве полноценной замены существующих кардиографов на виртуальный, на медицинских кафедрах в качестве учебных приборов для студентов, на производствах для проведения экспресс контроля состояния работников перед допуском их к работе, а также для интеграции данного устройства в современный автомобиль для контроля состояния водителя во время управления транспортным средством.

Список литературы: 1. *Тревис Дж.* LabVIEW для всех. – М.: ДМК пресс. 2005. – 537 с. 2. *Райнгайн Р.М.* Анализ био-медицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. под ред. *А.П. Немирно.* М.: - ФИЗМАТЛИТ. 2007 - 440 с. 3. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608с. 4. *Орлов В.Н.* Руководство по электрокардиографии. - М.: Медицина 2004 5. Сайт <http://www.kairost.ru>. 6. *Fridman H.H.* Diagnostic Electrocardiography and Vertocardiography.: New York, 2007. 7. Сайт <http://www.altonika.ru>. 8. Сайт <http://www.medical.philips.com>. 9. Сайт <http://www.ecg.su>.

Поступила в редакцию 03.04.2012