

## **Экспериментальное исследование электродов из углеродной ткани для регистрации электрических биосигналов**

**А.В. Леонова, С.А. Синютин**

Процедура записи ЭКГ предъявляет высокие требования к датчикам для регистрации биосигналов (электродам). Электроды должны сохранять надежный контакт с кожей и при этом не травмировать ее, что в течение суток (например, при процедуре холтеровского мониторирования) осуществить сложнее, чем в течение нескольких минут. Одноразовые электроды выполняют данную функцию, но при этом их применение достаточно дорого и с точки зрения комфорта обладает существенными недостатками: необходимо строго соблюдать методические требования по установке электродов; учитывать состояние и способ обработки кожи пациента; учитывать влияния свойств среды между кожей и электродом [1 - 3]. Клеящий слой одноразовых электродов может вызвать аллергию и существенные болевые ощущения при их отклеивании, особенно если поверхность кожи покрыта обильным волосным покровом, в то время как некачественный клеящий слой может привести к потере контакта и артефактам на ЭКГ. Малая площадь одноразовых электродов и наличие выступающего над поверхностью контакта с кнопкой также приводит к появлению артефактов на ЭКГ при наличии сил давления на кнопку, что при реальной деятельности всегда возможно. Существующие методики реабилитации больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы подразумевают многократное повторение в течение года процедуры холтеровского мониторирования. Поэтому актуальной задачей является разработка комфортных электродов или электродных устройств. Одним из направлений разработки интегрированных в одежду электродов является поиск новых материалов для изготовления электродов (токопроводящая часть), которые с одной стороны должны удовлетворять требованиям по

электропроводности (удельное поверхностное сопротивление не более 50 Ом на квадрат), а с другой стороны обладать высокими качествами по носкости и технологической возможности интегрирования в одежду. Исходя из целей исследования, были разработаны и изготовлены многоразовые электроды из высокотехнологичной гипоаллергенной ткани углеродной ткани (углеткань). Углеткань изготовлена на основе вискозной технической нити по специальной технологии. Содержание углерода около 90%. Углеткань обладает следующими свойствами:

- электропроводность;
- плотность 1,4 г/см<sup>3</sup>;
- термостойкость в инертной среде до 3000°C;
- термостойкость в окисляющих средах до 400 - 450°C;
- стойкость к электромагнитному, ядерному излучению и радиации;
- прочность нити 1.2 - 1.5 ГПа;
- модуль упругости волокна 60 ГПа;
- химическая стойкость к кислотам, щелочам, растворителям при любых температурах;
- удельное поверхностное электрическое сопротивление не более 0,5 Ом.

На рисунке 1 показан внешний вид углеткани.



Рисунок 1 – Внешний вид углеткани

Внешний вид электрода из углеткани показан на рисунке 1.



Рисунок 2 - Внешний вид электрода из углеткани

Углеткань полностью удовлетворяет требованиям по токопроводности, однако в ходе экспериментальных исследований выяснилось, что вид вязки, который использовался производителем для изготовления углеткани, не позволяет применить стандартные способы обработки срезов. Легко подвижная структура ткани (ткань слишком «живая») плохо интегрируется в одежду. Сами электроды легко деформируются, как видно на рисунке 2 края электрода растянуты. Тепловая обработка срезов не имела успехов, т.к. углеткань не горит и не плавится. Исходя из вышесказанного, было принято решение укрепить структуру ткани путем вплетения хлопчатобумажной нити. Для этой цели из образца углеткани была взята угленить и сплетена с хлопчатобумажной нитью. В результате получились многоразовые электроды из комбинированной нити, которые показаны на рисунке 3.



Рисунок 3 – Электроды из комбинированной нити

Для сравнения габаритных размеров на рисунке 3 показаны одноразовый электрод фирмы Kendall ECG Electrodes 57 мм x 34 мм H92SG и электрод из комбинированной нити.

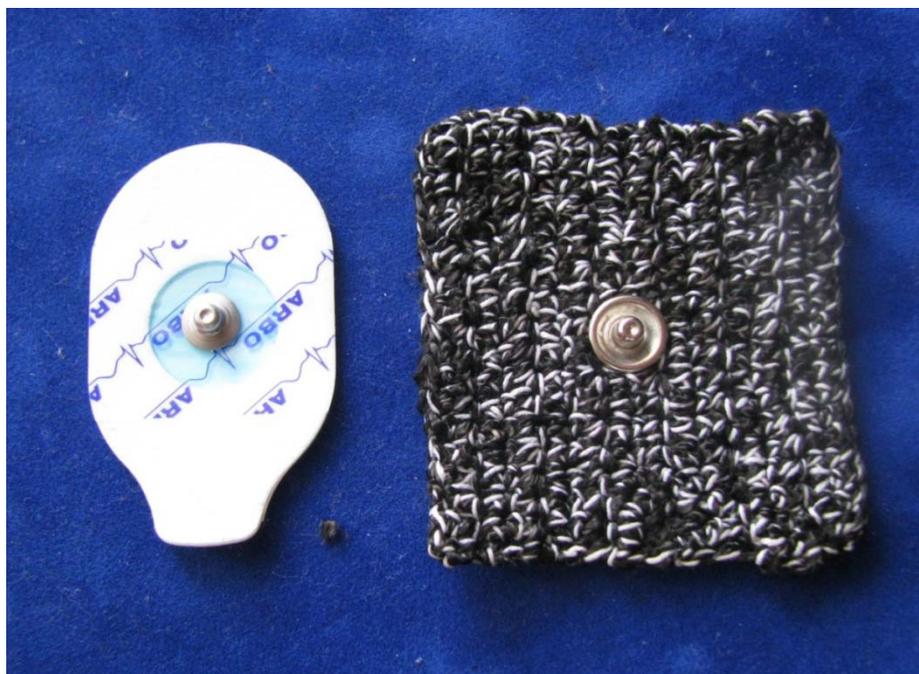


Рисунок 4 – Электрод из комбинированной нити и одноразовый электрод Kendall

В качестве токосъемных частей для изготовления электродов из углеткани (в том числе из комбинированной нити) использовались кнопки для легкой одежды компании «Хемлайн» («Hemline» Австрия, штат Новый Южный Уэльс, г. Кингс Парк, [www.hemline.com](http://www.hemline.com)). Применение указанной фурнитуры из области легкой промышленности обусловлено требованиями гипоаллергенности и совместимости (интеграции) с одеждой или ее элементами.

В результате экспериментальных исследований электроды из углеткани (комбинированная нить) показали хорошие результаты как по токопроводности, так и по удобству использования, например, для дальнейшей интеграции в одежду. Структура электрода уплотнилась, а сама вязка подразумевает собой обработку краев (в этом случае отсутствуют срезы).

Для исследования на надежность контакта интегрированных в одежду электродов для длительной регистрации ЭКГ из углеткани (комбинированная нить) использовалась тестовая плата фирмы Analog devices ADAS1000SDZ и общепринятые методики оценки [1, 4 - 8]. Для оценки устройство съема сигнала (сигма-дельта АЦП) программировалось в режиме с включенным внутренним ФНЧ на 40 Гц. Были рассмотрены два варианта: сухой и мокрый контакты. В случае сухого контакта электроды не подвергались никакой обработке, а в случае мокрого контакта поверхность электрода обрабатывалась гидрогелем с высокой адгезивностью и проводящей способностью (гидрогель «Every» фирмы Kendall).

Спектральная характеристика сигнала с сухих электродов из углеткани (комбинированная нить) показана на рисунке 5.

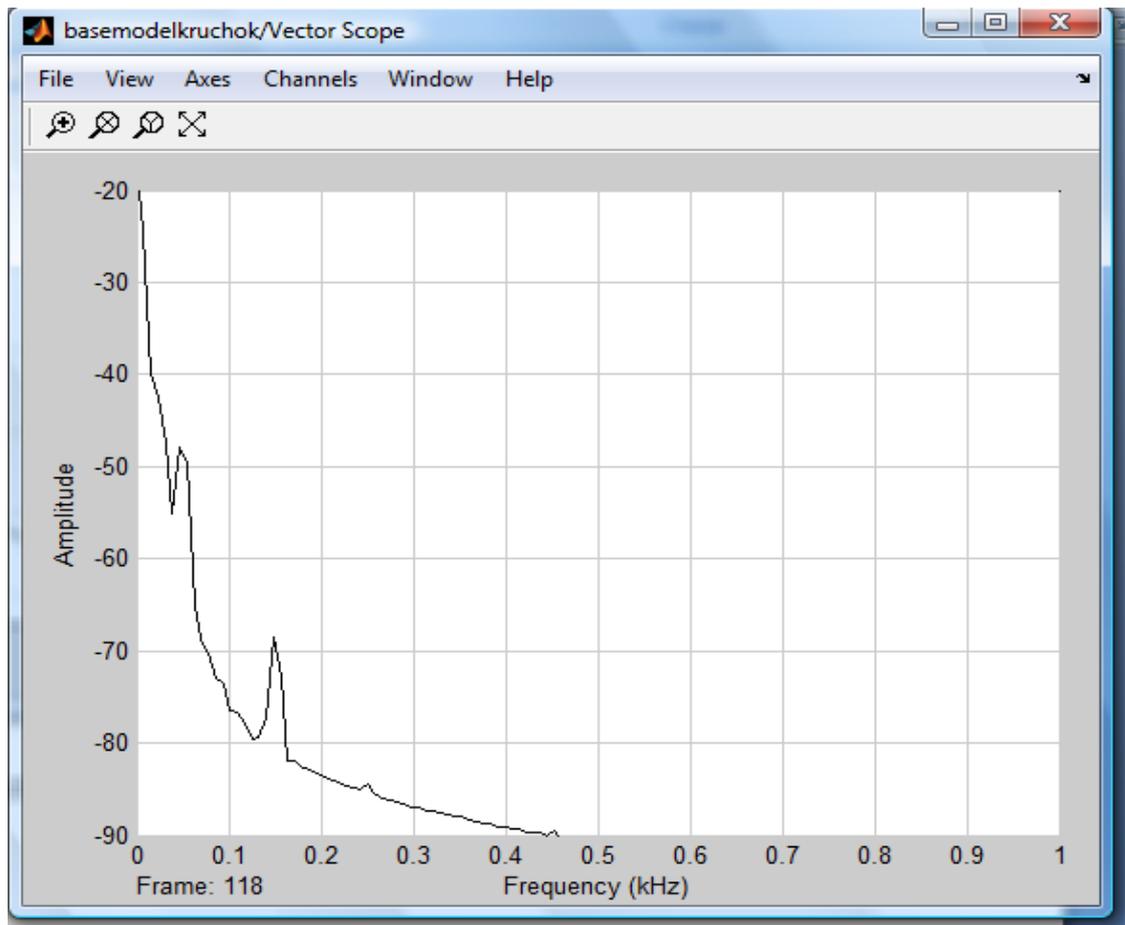


Рисунок 5 - Сухие электроды из углеткани (комбинированная нить). Спектр мощности

На рисунке 5 хорошо видно сетевую наводку 50 Гц и третью гармонику (150 Гц) с сухих электродов из углеткани (комбинированная нить). В сигнале выражены нечетные гармоники особенно 5-я и 9-я.

Исходный сигнал с мокрых электродов из углеткани (комбинированная нить) показан на рисунке 6.

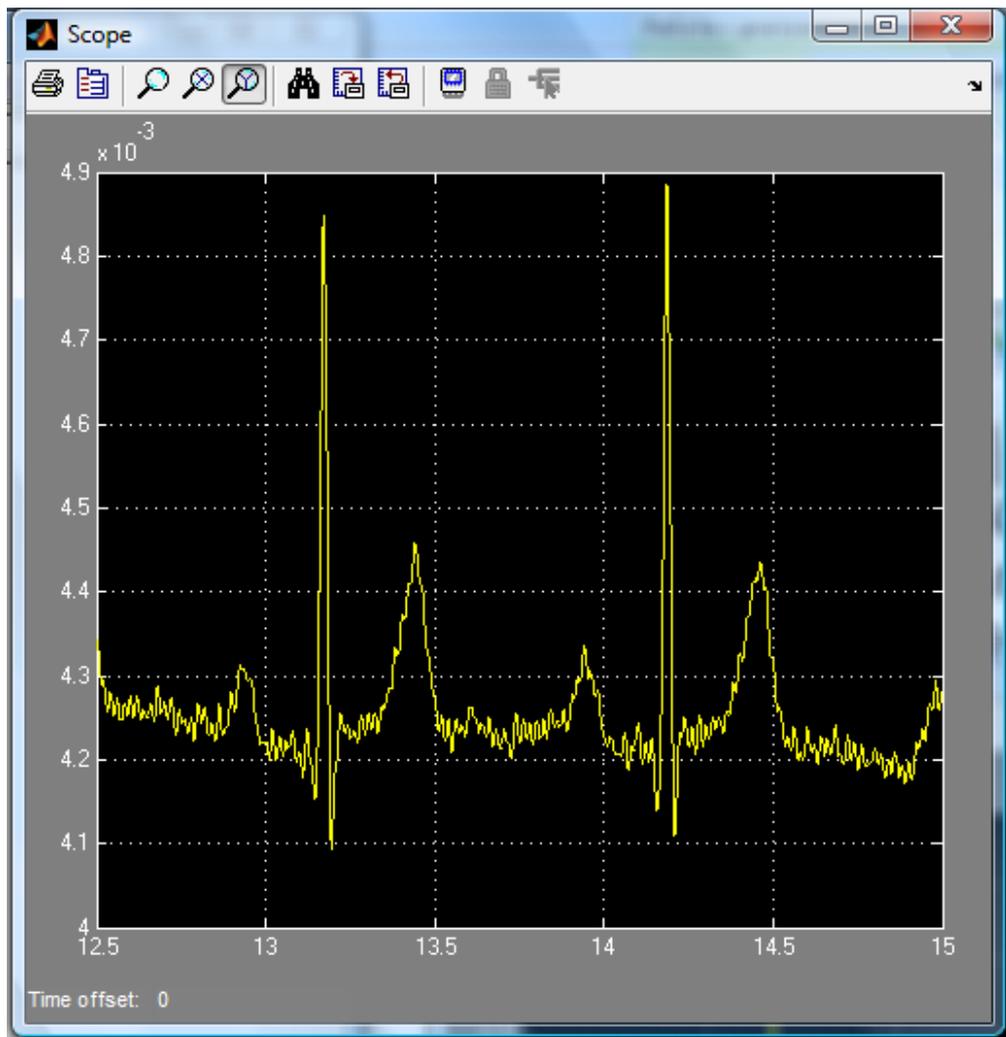


Рисунок 6 – Мокрые электроды из углеткани (комбинированная нить).

#### Исходный сигнал

Как видно из рисунка 6 в исходном сигнале с мокрых электродов из углеткани (комбинированная нить) дрейф изолинии не наблюдается, но постоянная составляющая присутствует. Форма и амплитуда сохранены.

Результаты обработки сигнала с мокрых электродов из углеткани (комбинированная нить) с компенсацией постоянной составляющей показаны на рисунке 7.

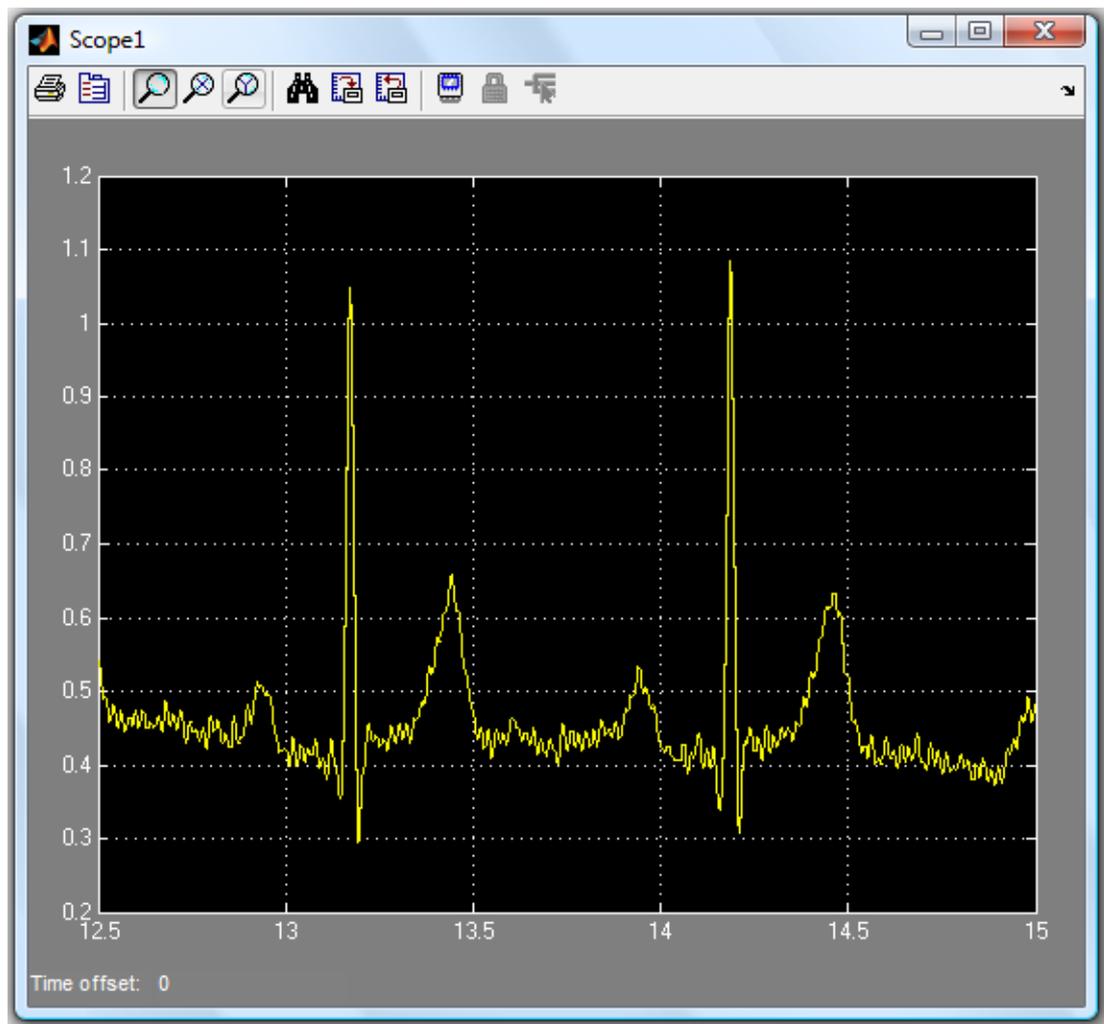


Рисунок 7 - Мокрые электроды из углеткани (комбинированная нить).  
Дискретизация сигнала с компенсацией постоянной составляющей

Как видно из рисунка 7 - шумовая составляющая сигнала с мокрых электродов из углеткани (комбинированная нить) присутствует и особенно заметна на изолинии между комплексами.

Спектральная характеристика сигнала с мокрых электродов из углеткани (комбинированная нить) показана на рисунке 8.

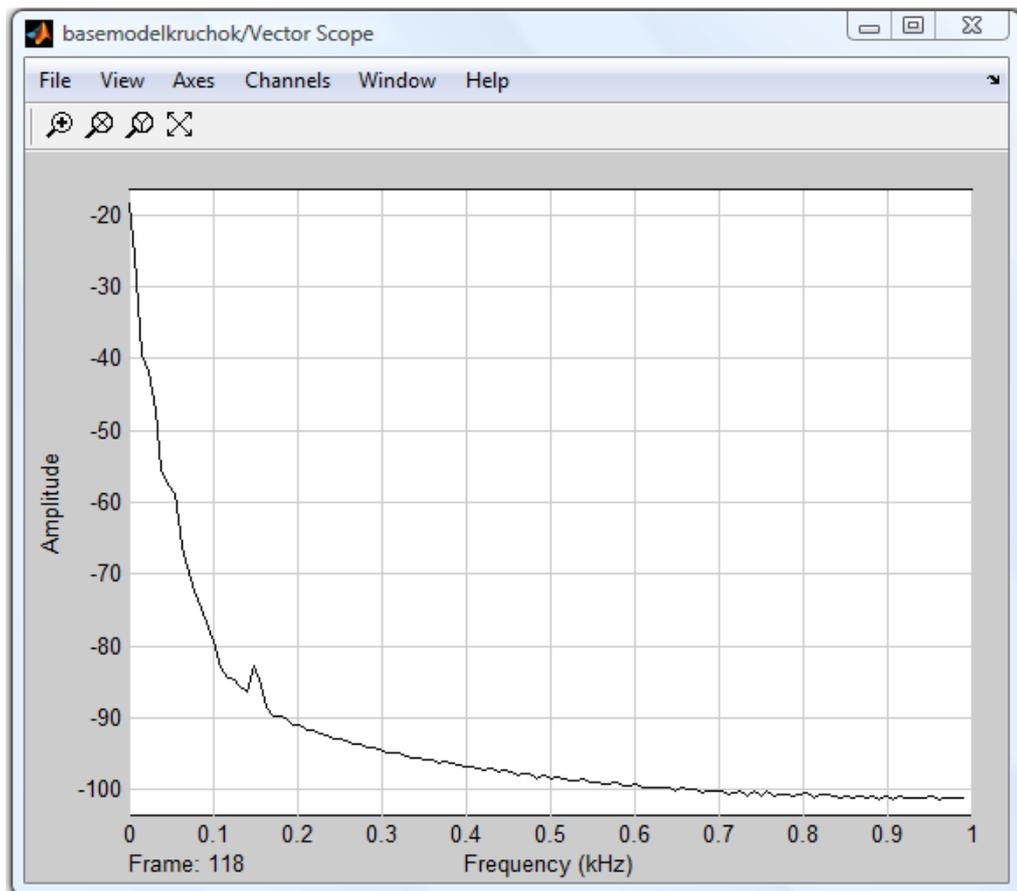


Рисунок 8 – Мокрые электроды из углеткани (комбинированная нить).  
Спектр мощности

Как видно из рисунка 8 сетевая наводка 50 Гц практически не исключена из сигнала, хотя третья гармоника (150 Гц) по-прежнему заметна, но на 5 дБ меньше, чем с сухих электродов из углеткани (комбинированная нить). Также в сигнале отсутствуют нечетные гармоники (5-я и 9-я), которые хорошо были заметны на сигнале с сухих электродов из углеткани (комбинированная нить).

Как показали экспериментальные исследования требованиям по токопроводности и интеграции в одежду удовлетворяют электроды, изготовленные из углеткани (комбинированная нить). Использование специальных гелей, паст и кремов для ЭКГ мониторинга подготавливают кожу к наложению электродов, улучшают качество мониторинга, уменьшают количество артефактов, очищают кожу [9, 10]. В случае использования мокрого контакта электродов из углеткани результаты оказались лучше, чем

для сухого: отсутствует дрейф изолинии, уменьшилась постоянная составляющая сетевой наводки. Экспериментальные исследования говорят о высоком качестве электродов из углеткани (комбинированная нить) и о перспективности их дальнейшего применения для кардиомониторинга. В качестве недостатков электродов из углеткани можно отметить сложность их изготовления, высокую стоимость углеткани и недолговечность, обусловленную составом материала, например, по сравнению со стандартными многоразовыми электродами.

Результаты исследований, изложенные в данной статье, получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта «Создание высокотехнологичного производства по изготовлению мобильного многофункционального аппаратно-программного комплекса длительного кардиомониторирования и эргометрии» по постановлению правительства №218 от 09.04.2010 г. Исследования проводились во ФГАОУ ВПО ЮФУ.

#### **Литература:**

1. Синютин С.А., Леонова А.В. Интегрированные в одежду электроды для регистрации ЭКГ [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, 81№4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2029> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. Синютин С.А., Леонова А.В., Семенистая Е.С. Двухкомпонентный датчик для оценки психофизиологического состояния спасателя при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций [Текст] / Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Медицинские информационные системы МИС – 2013» - Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013, №9. - 257 с.

3. Баевский Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе [Текст] / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин, - М.: Наука, 1984, - 222 с.
4. G. Ostrovsky. Vital Jacket: Heart Monitoring Shirt / Url: [http://www.medgadget.com/2008/04/vitaljacket\\_heart\\_monitoring\\_shirt.html](http://www.medgadget.com/2008/04/vitaljacket_heart_monitoring_shirt.html).
5. Синютин С.А., Захаревич В.Г. Анализ стресса по данным вариационной пульсометрии с помощью Wavelet преобразования [Текст] / Известия ЮФУ. Технические науки, № 9, 2012, С. 61 - 67.
6. Синютин С.А. Оценка состояния сердечно-сосудистой системы на базе ЭКГ и оксигеметрии [Текст] / Известия ЮФУ. Технические науки, №5, 2010, С. 80 - 84.
7. Леонова А.В., Зиновкин П.К., Болдырев Е.Б. Аппаратно-программный комплекс регистрации нагрузки для функциональной диагностики [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1130> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
8. Тарасова И.А., Леонова А.В., Синютин С.А. Алгоритмы фильтрации сигналов биоэлектрической природы [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4 (2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
9. Azzam F G Taktak. Clinical Engineering: A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers [Text] / Azzam F G Taktak, Paul Ganney, David Long and Paul White: Academic Press, 2013. – 480 p.
10. James H. O'Keefe Jr. The ECG Criteria Book [Text] / James H. O'Keefe Jr., Stephen C. Hammill, Mark S. Freed and Steven M. Pogwizd: Physicians press, 2009. – 184 p.