

## Алгоритм формирования смещения ST-сегмента

*А.В. Угольников<sup>1</sup>, А.О. Беляев<sup>1</sup>, В.Б. Подопригора<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Южный федеральный университет, Таганрог*

<sup>2</sup>*ОАО «НПП КП «Квант», Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В статье рассматривается алгоритм формирования смещения ST-сегмента электрокардиосигнала с учетом воздействия различных флуктуаций, таких как дыхание, аддитивные шумы, дрейф изолинии. Предлагается выявлять участки расположения ST-сегмента и интерполировать смещенный сегмент с синтезированной ЭКГ путем изменения модуля генерации ЭКГ на основе пакета LabVIEW BioMedical Toolkit.

**Ключевые слова:** Электрокардиограмма, ST-сегмент, синтезированная ЭКГ, элевация, депрессия, сердечный ритм, T-зубец, изолиния, сглаживание, интерполяция.

### Введение

На современном этапе развития электрокардиография широко использует цифровой съем данных с электрокардиографов и автоматическую обработку (анализ, интерпретация) электрокардиограмм (ЭКГ) [1, 2]. Очевидно, что для таких систем анализа требуется тщательная проверка разрабатываемых алгоритмов измерения диагностических признаков, выявления фрагментов и параметров ЭКГ, а также других показателей [3, 4].

Для проверки качества таких алгоритмов целесообразно использовать как реальные, так и синтезированные ЭКГ, которые имеют заданные параметры и позволяют имитировать широкий диапазон различных патологий.

Реальные ЭКГ-сигналы имеют очень сложную форму, которая к тому же искажается внешними воздействующими факторами: наводки сети, нестабильность сердечного ритма, влияние дыхательной системы и другие воздействия. Для тестирования алгоритмов измерения диагностических признаков требуется, особенно на начальных стадиях, ЭКГ с predetermined параметрами. Одним из таких параметров является смещение ST-сегмента, который является важным фактором по выявлению ишемической болезни сердца. Более того, в том случае если производителем оборудования заявляется возможность регистрации смещения ST-сегмента,

то этот параметр является метрологической характеристикой и должен иметь пределы измерения, погрешность, а так же методику испытаний. При выполнении комплексного проекта, в частности при подготовке медицинского изделия к государственной регистрации было выявлено, что существующие аналоги (медицинские изделия с функцией измерения смещения ST-сегмента) в качестве эталона используют генератор сигналов низкочастотный ГФ-05. Данное оборудование снято с производства и может быть приобретено исключительно на вторичном рынке, и как и другое современное сертифицированное испытательное оборудование для медицинских систем не имеет возможности формирования искусственного электрокардиосигнала со смещением ST-сегмента. Таким образом, производитель медицинского оборудования находится в безальтернативной ситуации, особенно с учетом того, что испытания по измерению смещения ST-сегмента должны проводиться не только на этапе сертификации медицинского изделия, но и при выпуске каждого изделия. Учитывая данный факт, использование ГФ-05 не представляется возможным.

С другой стороны многие предприятия имеют в составе своего испытательного и измерительного оборудования генераторы аналоговых сигналов. Одним из популярных решений является оборудование и программное обеспечение National Instruments, которое, используя среду разработки LabVIEW позволяет создавать собственные конфигурируемые генераторы сигналов сложной формы [5-7]. По этой причине реализация алгоритма смещения ST-сегмента является актуальной задачей для тестирования алгоритмов диагностики сердечных сокращений.

### **Цель и задачи**

Цель настоящей работы – разработка алгоритма смещения ST-сегмента при воздействии различных флуктуаций (дыхание, аддитивные шумы, дрейф изолинии и прочее).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующего метода синтеза ЭКГ.
2. Разработать алгоритм формирования смещения ST-сегмента.

### Алгоритм синтезирования ЭКГ

На рис. 1 приведена типичная ЭКГ с указанием ее фрагментов [3].

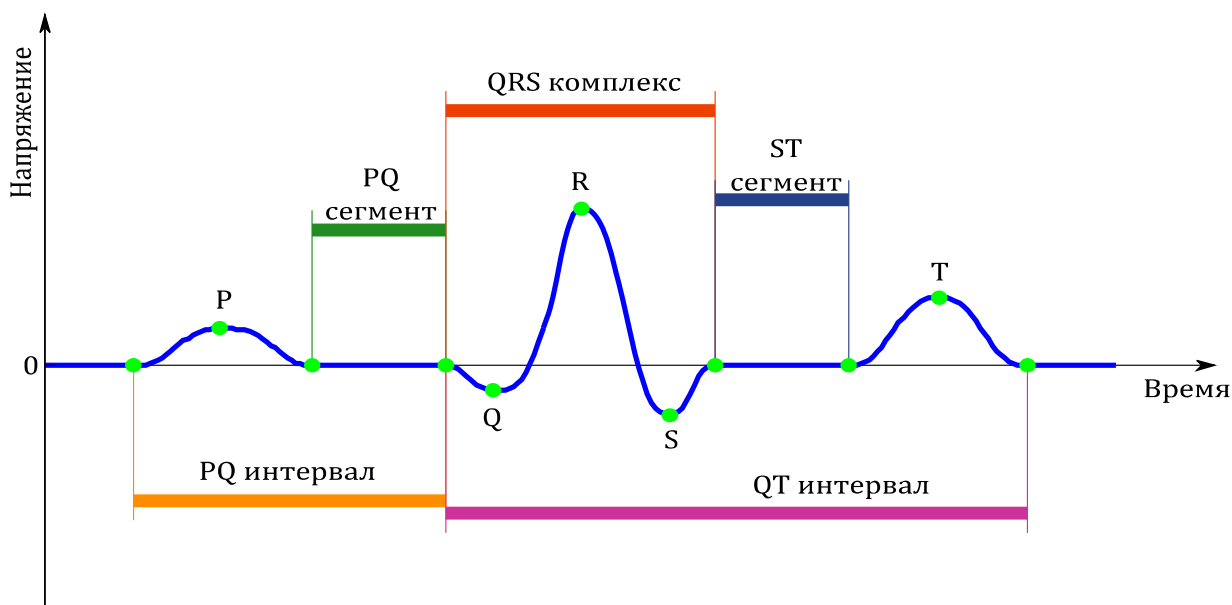


Рис. 1 – Фрагменты ЭКГ

P-зубец – отображает деполяризацию предсердий. QRS-комплекс – отображает деполяризацию желудочков. Процесс реполяризации желудочков соответствует T-зубцу на ЭКГ. Форма ЭКГ может отличаться от представленной на рис. 1. Она зависит от индивидуальных особенностей отдельного человека [8].

Одна из широко используемых моделей синтеза ЭКГ была предложена МакШарри [9]. Она состоит из трех дифференциальных уравнений представленных ниже:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \alpha x - \omega y, \\ \dot{y} &= \alpha y + \omega x, \\ \dot{z} &= - \sum_{i \in \{P, Q, R, S, T\}} a_i \cdot \Delta \theta_i \cdot e^{-\Delta \theta_i^2 / 2b_i^2} - (z - z_0) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha = 1 - \sqrt{x^2 + y^2}$ ,  $\Delta \theta_i = (\theta - \theta_i) \bmod 2\pi$ ,  $\theta = \text{atan2}(y, x)$ ,  $\omega$  – угловая скорость движения (пропорциональна частоте сердечных сокращений). На рис. 2 показана типичная ЭКГ, синтезированная на основе уравнений (1).

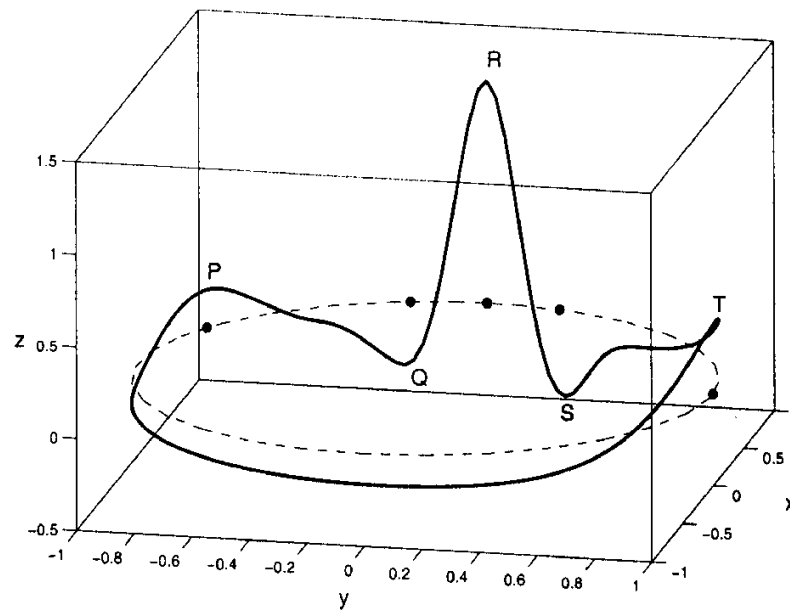


Рис. 2 – Синтезированная ЭКГ

Аргумент  $z$  характеризует дыхание человека и определяется следующим образом:

$$z_0(t) = A \sin(2\pi f_2 t),$$

где  $f_2$  – частота дыхания,  $A$  – амплитуда ( $A \approx 0,15$  мВ).

### Алгоритм смещения ST-сегмента

Согласно ранее определенной цели необходимо изменить уровень ST-сегмента относительно изолинии. Обозначим требуемое смещение ST-сегмента как  $A_S$ . Смещение изолинии относительно оси абсцисс –  $A_P$ .

Смещение изолинии задается уровнем PQ-сегмента. Поэтому смещение ST-сегмента  $A'_S$  относительно оси абсцисс будет равно  $A'_S = A_S + A_P$ .

Смещение ST-сегмента может происходить как в положительном, так и в отрицательном направлении. На рис. 3 показано смещение ST-сегмента в положительном направлении (элевация) [10].

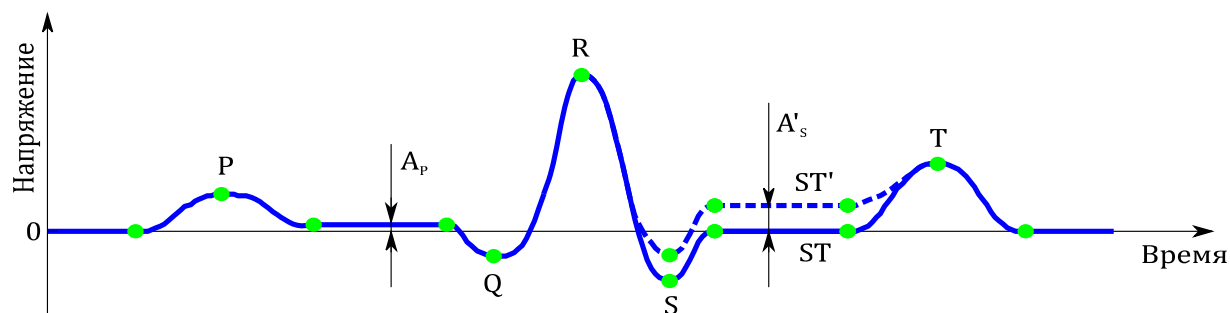


Рис. 3 – Элевация ST-сегмента

При элевации ST-сегмента зубцы S и T начинают сглаживаться. Дальнейшее увеличение уровня смещения ST-сегмента приводит ко все большему сглаживанию соседних зубцов и даже к возможному их исчезновению. Это естественный процесс, при большой элевации ST сегмента на реальной ЭКГ формируется так называемая монофазная кривая «Плато Пуркинью», когда исчезает зубец S, а сегмент ST сливается с зубцом T.

При отрицательном смещении ST-сегмента (депрессия) происходит инвертирование T-зубца по оси ординат. То есть согласно уравнениям (1)  $a'_T = -a_T$ . На рис. 4 показан пример смещение ST-сегмента в отрицательном направлении [10].

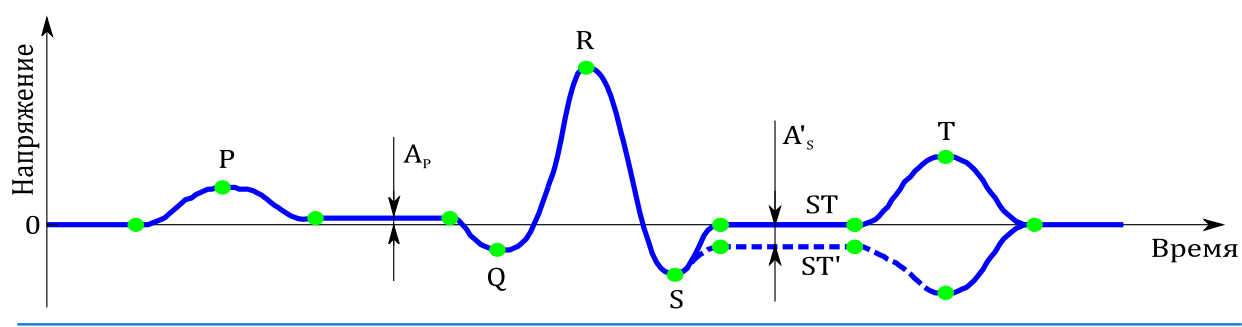


Рис. 4 – Депрессия ST-сегмента

После вычисления уровня смещения ST-сегмента относительно оси абсцисс рассчитывается новый массив отсчетов ST-сегмента, который плавно сопрягается с соседними зубцами. Положение зубцов на ЭКГ определяется переменной  $\theta_{s,T}$  в системе уравнений (1).

Сам алгоритм формирования смещения ST-сегмента по синтезированной ЭКГ показан на рис. 5.

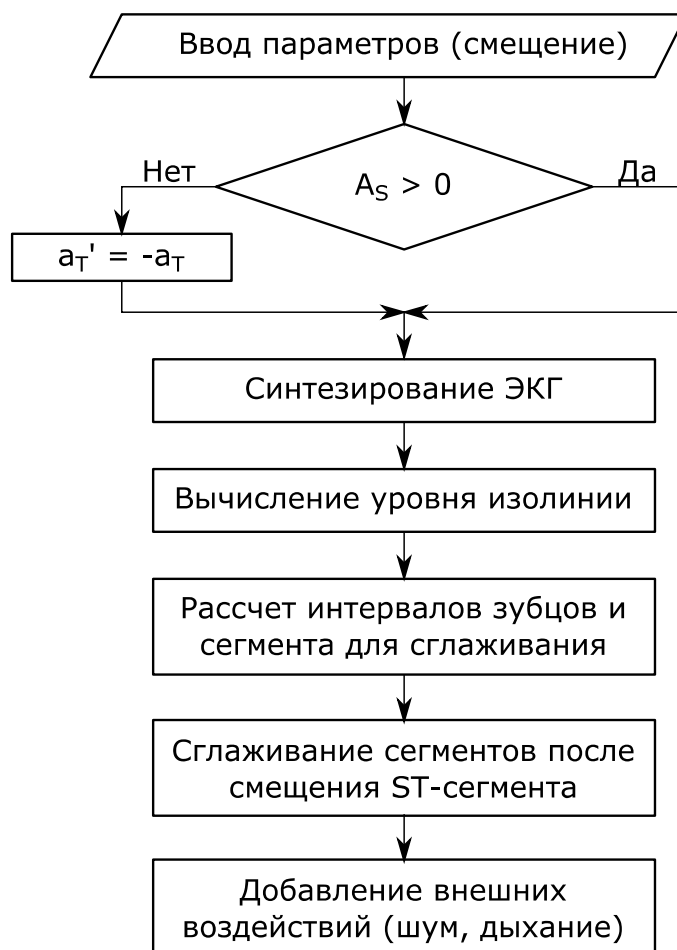


Рис. 5 – Алгоритм формирования смещения ST-сегмента

### Результаты

Создано дополнение к программе, которое осуществляет формирование смещения ST-сегмента по описанному алгоритму. Результаты представлены на рис. 6, 7.

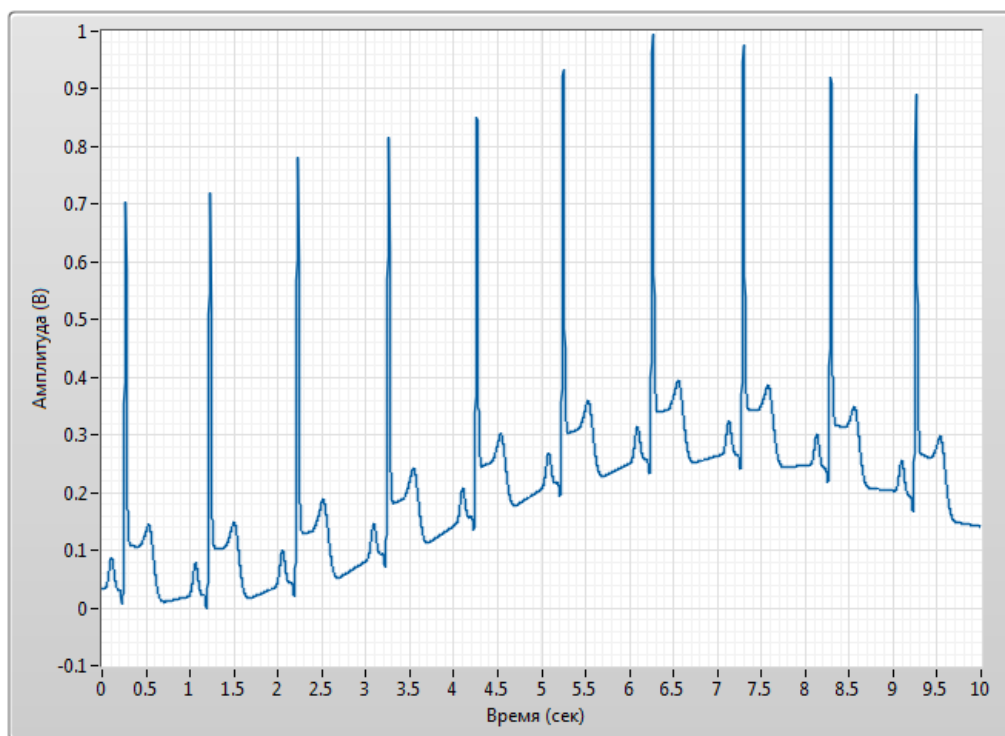


Рис. 6 – Смещение ST-сегмента на +10 мВ

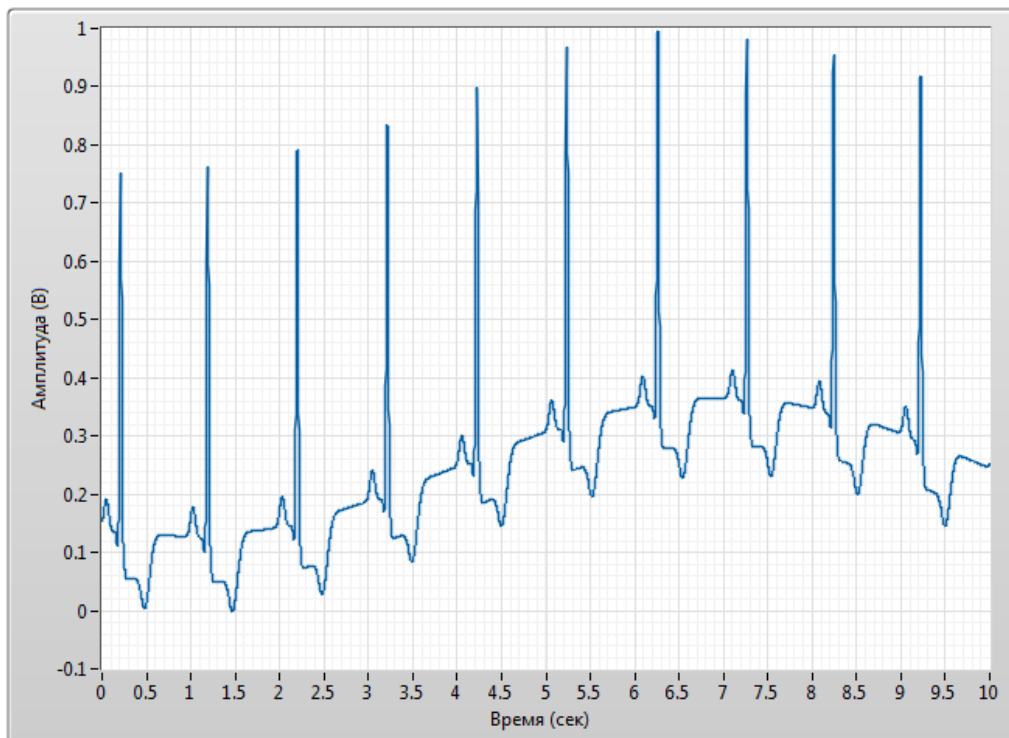


Рис. 7 – Смещение ST-сегмента на -10 мВ

Как видно из рис. 6, 7 ST-сегмент смещается относительно изолинии на заданный уровень с учетом воздействия внешних флуктуаций (в данном случае дыхание). Также видно исчезновение зубца S при достаточно большом смещении ST-сегмента, что согласуется с реальными патологиями изменения электрокардиосигнала при ишемической болезни сердца [10].

Работа выполнена 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. Работа выполнялась во ФГАОУ ВО ЮФУ.

### Литература

1. Тарасова И.А., Леонова А.В., Синютин С.А. Алгоритмы фильтрации сигналов биоэлектрической природы // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2). URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481).
2. Леонова А.В., Зиновкин П.К., Болдырев Е.Б. Аппаратно-программный комплекс регистрации нагрузки для функциональной диагностики // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 1) URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1130](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1130).
3. Kovacs, P. ECG signal generator based on geometrical features // *Annales Univ. Sci. Budapest., Sect. Comp.* 37. 2012. pp. 247-260.
4. Беклер Т.Ю. Моделирование искусственных электрокардиограмм нормальной и патологической формы // *Кибернетика и вычислительная техника.* 2012. №169. С. 19-33.
5. Суранов А.Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2007. 536 с.
6. LabVIEW for ECG Signal Processing. 2017. URL: [ni.com/tutorial/6349/en/](http://ni.com/tutorial/6349/en/).





7. Anjali Deshmukh and Yogendra Gandole., ECG Feature Extraction Using NI LabVIEW Biomedical Workbench. International Journal of Recent Scientific Research Vol. 6, Issue, 8, August, 2015. pp. 5603-5607.

8. Афшар Э. Реконструкция эквивалентных электрических источников сердца по выделенным высокочастотными и низкоамплитудным составляющим кардиосигналов // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н.. М.: 2016. 166 с.

9. McSharry P.E., Clifford G.D., Tarassenko L. and Smith L.A. A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 50 (2003), pp. 289-294.

10. Kusumoto, F., Bernath P. ECG interpretation for everyone: an on-the-spot guide // John Wiley & Sons, Ltd., Publication. West Sussex, UK. 2012. 399 p.

### References

1. Tarasova I.A, Leonova A.V., Sinjutin S.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481.

2. Leonova A.V., Zinovkin P.K., Boldyrev E.B. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1130.

3. Kovacs, P. ECG signal generator based on geometrical features. Annales Univ. Sci. Budapest., Sect. Comp. 37. 2012. pp 247-260.

4. Bekler T.Ju. Kibernetika i vychislitel'naja tehnika. 2012. №169. P. 19-33.

5. Suranov A.Ja. LabVIEW 8.20: Spravochnik po funkcijam [LabVIEW 8.20: Function reference]. Moskow: DMK Press, 2007. 536 p.

6. LabVIEW for ECG Signal Processing. 2017. URL: ni.com/tutorial/6349/en/.

7. Anjali Deshmukh and Yogendra Gandole., ECG Feature Extraction Using NI LabVIEW Biomedical Workbench. International Journal of Recent Scientific Research Vol. 6, Issue, 8, August, 2015. pp. 5603-5607.

8. Afshar Je. Rekonstrukcija jekvivalentnyh jelektricheskikh istochnikov serdca po vydelennym vysokochastotnymi i nizkoamplitudnym sostavljajushhim



kardiosignalov [Reconstruction of equivalent electric sources of the heart via a dedicated high-frequency and low-amplitude components of cardiac signals]. PhD dissertation. Moscow: 2016. 166 p.

9. McSharry P.E., Clifford G.D., Tarassenko L. and Smith L.A. A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 50 (2003), pp. 289-294.

10. Kusumoto, F., Bernath P. ECG interpretation for everyone: an on-the-spot guide. John Wiley & Sons, Ltd., Publication. West Sussex, UK. 2012. 399 p.