

УДК 615.47

**Экспериментальное исследование тонкой моторики рук с помощью цифрового графического планшета/ К. Г. Селиванова // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПИ», – 2013. - № 18 (991). – С. 137-143. – Бібліогр.: 10 назв.**

У роботі запропонована методика оцінки тонкої моторики рук за допомогою виконання ряду послідовних тестів на графічному планшеті бездротовим пером. Це представляє собою додатковий діагностичний критерій визначення на ранніх стадіях таких рухових розладів, як тремор, професійні дискінезії, писальний спазм.

**Ключові слова:** тонка моторика, графічний планшет, бездротове перо.

The paper presents the method of estimating the fine hand movements by executing a series of successive tests on the graphics tablet cordless pen. This represents an additional diagnostic criterion for determining the early stages of movement disorders, tremor, dyskinesia professional, writer's cramp.

**Keywords:** fine motor skills, graphics tablet, pen device.

УДК 615.471

**А. В. КИПЕНСКИЙ**, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;

**В. В. КУЛИЧЕНКО**, асистент, НТУ «ХПИ»;

**Р. С. ТОМАШЕВСКИЙ**, канд. техн. наук, старш. преп., НТУ «ХПИ»;

**Е. Ю. ДЕМИДОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»

## **АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

В статье представлен анализ динамической погрешности измерения средней частоты сердечных сокращений по методу "скользящего среднего". Основное внимание уделяется возможным решениям для уменьшения динамической погрешности при измерении среднего значения частоты сердечных сокращений.

**Ключевые слова:** скользящее среднее, динамическая погрешность, частота сердечных сокращений

Частота сердечных сокращений (ЧСС), как один из важнейших физиологических показателей человека, может быть измерена разными вариантами: текущее значение (определенное в течение одного периода сердечных сокращений) и среднее значение (определенное в течение некоторого временного интервала). И в зависимости от конкретного случая измеряется то или иное значение. Введем понятие мониторинга, который представляет собой процесс слежения, позволяющий в реальном времени наблюдать за основными параметрами работы сердечнососудистой и дыхательной систем человека (таких как частота сердечных сокращений и частота дыхания (ЧД)), выявлять отклонения в деятельности данных систем и сигнализировать о критической ситуации.

Также измерение частоты сердечных сокращений необходимо и в диагностике, которая представляет собой процесс установления диагноза, то есть заключения о сущности болезни и состоянии пациента, выраженное в принятой медицинской терминологии.

© А. В. Кипенский, В. В. Куличенко, Р. С. Томашевский, Е. Ю. Демидова, 2013

Частота сердечных сокращений определяется также в случае проведения различных медицинских физиологических процедур для контролирования физиологических показателей человека и поддержания его здоровья

Среднее значение частоты сердечных сокращений измеряется в тех случаях, когда необходимо получить информацию о деятельности сердечнососудистой системы в целом [1]. Такие измерения проводятся как на этапе постановки диагноза, так и в процессе проведения физиотерапевтических процедур [2]. Для того, чтобы физиологический показатель имел диагностическую ценность, его следует измерять в течение некоторого интервала времени. Это необходимо для исключения влияния на результаты измерений собственных колебаний физиологических показателей, являющихся нормой для жизнедеятельности человеческого организма. Измерение ЧСС принято проводить в течение временного интервала не менее 10 секунд или в течение 10 циклов сердечных сокращений [1].

У здоровых взрослых людей среднее значение частоты сердечных сокращений соответствует частоте пульса и составляет  $60-80 \text{ мин}^{-1}$ . Следует отметить, что вариабельность сердечного ритма может быть определена по средней ЧСС и вариабельности интервала R-R [3].

Проведенный анализ естественных колебаний частоты сердечных сокращений показал, что во время отдыха ЧСС увеличивается и уменьшается каждые несколько секунд на фоне дыхательного цикла. При этом, значение частоты сердечных сокращений уменьшается в период сна (23:00-06:00), и имеет два дневных подъема – первый около 11 часов дня, второй – в промежутке между 6 и 8-ю часами вечера [4]. Среднее значение ЧСС при этом в течение суток может изменяться на 15-25 ударов в минуту.

Также следует отметить влияние температуры тела человека на изменение значения частоты сердечных сокращений. Согласно закону Либермейстера, увеличение температуры на  $1^\circ\text{C}$  приводит к росту ЧСС на 6-10 ударов в минуту [5]. Этот факт необходимо учитывать при проведении физиотерапевтических процедур, при которых ЧСС является диагностическим параметром.

Частота дыхания (ЧД) имеет значительно меньшее значение относительно частоты сердечных сокращений, однако в достаточной мере влияет на колебания ЧСС. Взрослый человек, находясь в состоянии покоя, совершает в среднем 14 дыхательных движений в минуту [6]. Вместе с тем, значения частоты дыхания могут претерпевать значительные колебания, составляющие от 10 до 18 дыханий за минуту.

Дальнейшие исследования и расчеты рассматриваются применительно к частоте сердечных сокращений, но могут быть применены и относительно частоты дыхания.

В ходе проведенных исследований было установлено, что для решения задачи измерения среднего значения ЧСС наиболее целесообразно представлять физиологический параметр (биоэлектрические потенциалы, тоны сердца, пульсации сосудов) в виде импульсной последовательности с последующим усреднением одним из вариантов метода «скользящего среднего» [8].

Для проведения исследования были установлены такие условия: два значения частоты сердечных сокращений ( $f_{H1} = 60 \text{ мин}^{-1}$ ,  $f_{H2} = 90 \text{ мин}^{-1}$ ), между которыми произошло скачкообразное изменение частоты входного сигнала от значения  $f_{H1}$  до значения  $f_{H2}$  и наоборот.

Из возможных разновидностей метода «скользящего среднего» проанализированы такие варианты: «простого скользящего» (ПС), «взвешенного скользящего» (ВС) и «экспоненциального взвешенного скользящего» (ЭВС).

Далее на варианте ПС показана суть метода «скользящего среднего», который заключается в измерении текущих значений периодов  $T_{IIi}$  сердечных сокращений в течении  $M$  периодов (рис. 1, а) с последовательным сохранением их в массиве ячеек памяти. В данном исследовании используется импульсно-цифровой преобразователь (ИЦП), при этом на основе предыдущих исследований был выбран классический метод последовательного счета для преобразования частоты следования импульсов в цифровой код, соответствующий ее среднему значению [8]. Среднее значение периода вычисляется исходя из значений расположенных в ячейках памяти тем или иным способом. Процесс расчета повторяется для каждого нового измеренного периода  $T_{II(M+i)}$ , значение которого записывается вместо  $T_{IIi}$ , измеренного  $M$  периодов назад.

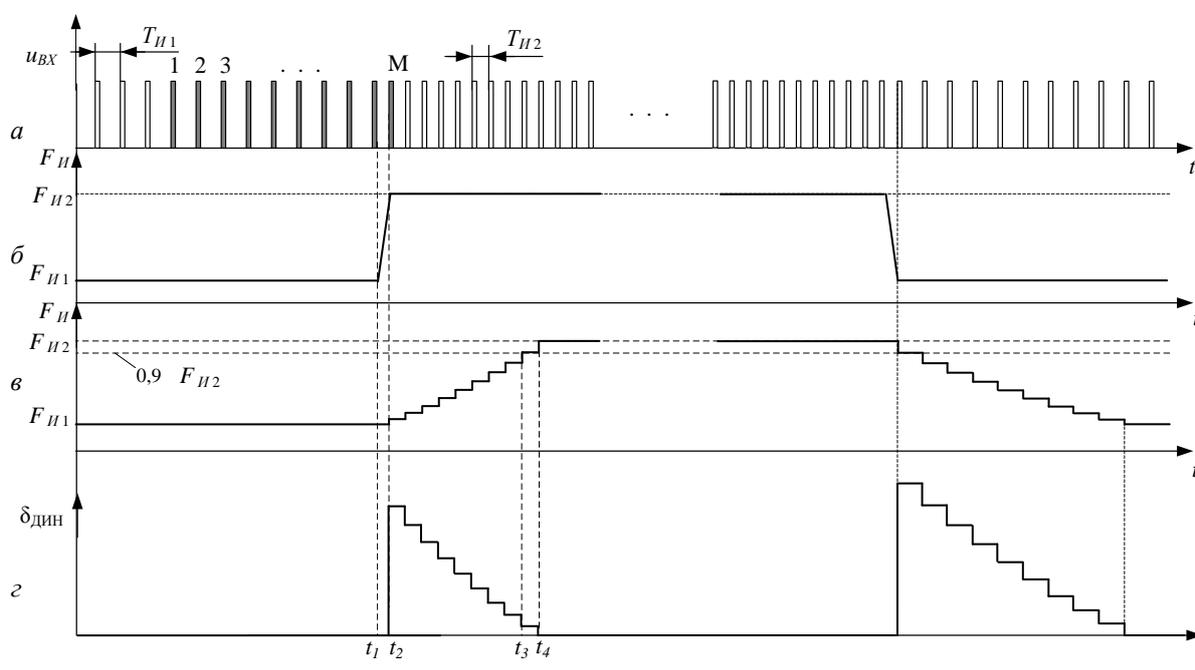


Рис. 1 Временные диаграммы измерения частоты пульса

При использовании варианта ПС, выражение для вычисления среднего значения периода сердечных сокращений будет иметь вид:

$$T_{II}^{ПС} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M T_{IIi} ,$$

где  $T_{IIi}$  – текущее значение  $i$ -го периода сердечных сокращений.

Среднее значение ЧСС, выраженное в  $\text{мин}^{-1}$ , рассчитывается микропроцессорной системой на основе среднего значения периода сердечных сокращений  $T_{II}^{ПС}$  и путем перевода периода в частоту.

Для оценки динамических свойств метода «скользящего среднего» для варианта ПС предположим, что в некоторый момент времени  $t_1$  (рис. 1, б) произошло изменение состояния сердечнососудистой системы и к моменту времени  $t_2$  значение ЧСС изменились от  $f_{II1}$  до  $f_{II2}$ . С учетом особенностей усреднения рас-

смаатриваемым вариантом метода «скользящего среднего» вычисленные средние значения ЧСС окончательно достигнут своего нового значения  $F_{II2}^{ПС}$  лишь к моменту  $t_3$  (см. рис. 1, в).

При этом отклонения значений  $F_{IIi}^{ПС}$  на интервале  $t_2-t_3$  от значения  $F_{II2}^{ПС}$  можно рассматривать как динамическую погрешность, вызванную скачкообразным изменением текущего значения ЧСС и обусловленную запаздываниями, возникающими в процессе усреднения. Учет такой погрешности необходим в связи с тем, что при резком изменении физиологических показателей человека необходима незамедлительная реакция не только со стороны обслуживающего медицинского персонала, но и со стороны измерительной аппаратуры, которая может формировать сигнал изменения параметров физиотерапевтического воздействия.

В общем случае динамическая погрешность может быть вычислена на каждом периоде сердечных сокращений по выражению:

$$\delta = \frac{|F_{II-ИЗМ} - F_{IIi}|}{F_{II-ИЗМ}} \cdot 100\% ,$$

где  $F_{II-ИЗМ}$  – та частота, значение которой становится таким в результате скачкообразного изменения, в данном случае это  $f_{II2}$ ;

$F_{IIi}$  – текущее значение частоты ИЦП в процессе преобразования.

Изменение значения динамической погрешности при скачкообразном изменении ЧСС (для случая  $M = 10$ ,  $f_{II1} = 60 \text{ мин}^{-1}$  и  $f_{II2} = 90 \text{ мин}^{-1}$ ) показано на рис. 1, з.

Для случая, когда частота меняется обратно с  $f_{II2} = 90 \text{ мин}^{-1}$  до  $f_{II1} = 60 \text{ мин}^{-1}$  выполнены аналогичные расчеты и преобразования, которые также показаны на рис. 1.

Полезной в данном случае оказывается и оценка среднеквадратичного отклонения среднего значения ЧСС на интервале  $t_2-t_3$  от своего нового значения. Такое отклонение рассчитывается по выражению:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (F_{II2} - F_{IIi})^2} .$$

Снижение динамической погрешности измерения среднего значения ЧСС возможно путем уменьшения продолжительности интервала усреднения. На рисунках 2-5 приведены результаты расчета динамической погрешности  $\delta_{\max}$  и среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  для случаев усреднения от 2 до 20 периодов сердечных сокращений. Рисунки 2 и 4 соответствуют преобразованию при изменении частоты с  $60 \text{ мин}^{-1}$  до  $90 \text{ мин}^{-1}$ , а рисунки 3 и 5 – с  $90 \text{ мин}^{-1}$  до  $60 \text{ мин}^{-1}$ .

Полученные зависимости явно указывают на то, что наибольшее среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  имеет вариант ПС. Динамическая погрешность  $\delta_{\max}$  наибольшая у ПС, поскольку пересчет нового значения ведется без учета весовых коэффициентов для каждого текущего значения, как в методах ВС и ЭВС. И именно поэтому значения динамической погрешности  $\delta_{\max}$  для ВС и ЭВС совпадают, а кривая среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  находится ниже по сравнению с кривой ПС.

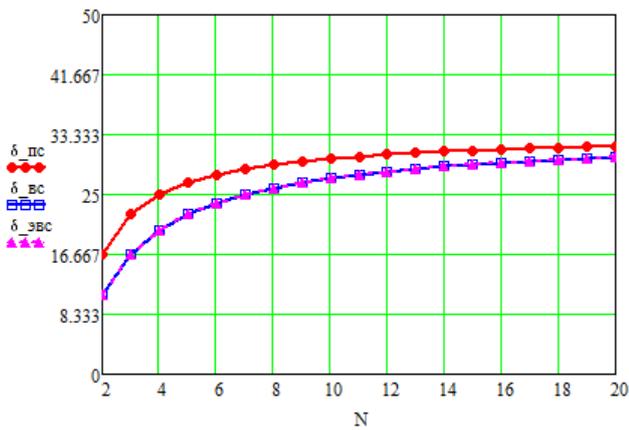


Рис. 2 – Динамическая погрешность при скачке от 60 до 90 уд/мин

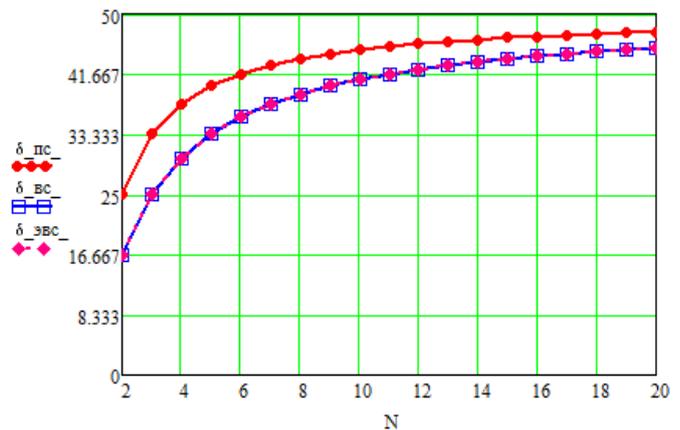


Рис. 3 – Динамическая погрешность при скачке от 90 до 60 уд/мин

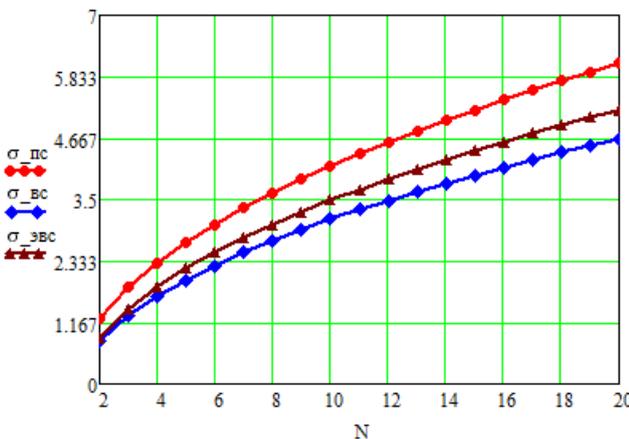


Рис. 4 – Среднеквадратичное отклонение при скачке от 60 до 90 уд/мин

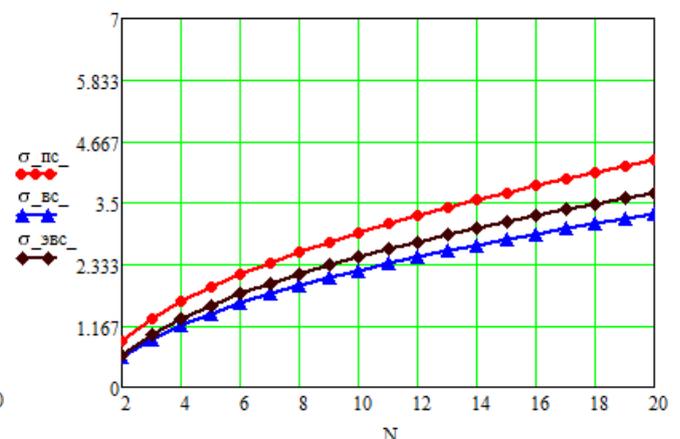


Рис. 5 – Среднеквадратичное отклонение при скачке от 90 до 60 уд/мин

Для трех вариантов усреднения исследован временной интервал полной реакции – время, за которое результат преобразования будет соответствовать истинному значению частоты входного сигнала. Временной интервал полной реакции может определяться при значении равном  $0,9 f_{H2}$ , как это показано в предыдущих исследованиях [8], либо при значении  $f_{H2}$  (время  $t_4$  на рис.1, в), как это показано на рисунках 6 и 7.

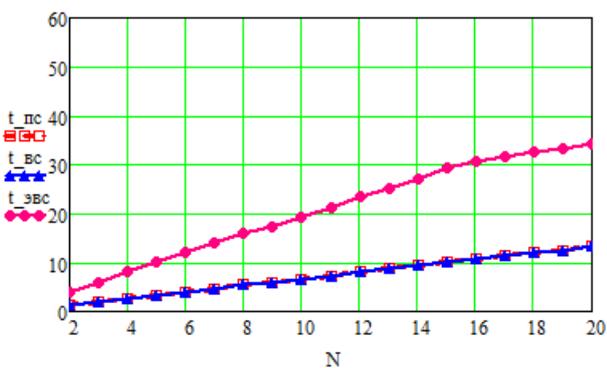


Рис. 6 – Интервал полной реакции при скачке от 60 до 90 уд/мин

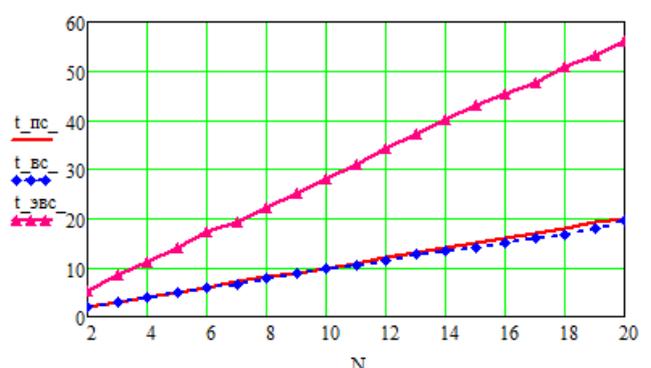


Рис. 7 – Интервал полной реакции при скачке от 90 до 60 уд/мин

В этом случае, на обоих рисунках время полной реакции для ЭВС значительно превышает время для ПС и ВС. Это можно объяснить тем, что кривая ЭВС достигает значения  $0,9 f_{I2}$  примерно в то же время, как и при использовании других методов, но по причине своего экспоненциального характера время преобразования значительно увеличивается.

### **Выводы**

Таким образом, в результате проведенного исследования можно сказать, что при использовании метода «скользящего среднего» наиболее целесообразно среднее значение частоты того или иного физиологического показателя вычислять по варианту «взвешенного скользящего», поскольку в целом показатели динамической погрешности, среднеквадратичного отклонения и временной интервал полной реакции являются наименьшими из всех возможных вариантов.

**Список литературы:** 1. *Остроухов В.Д.* Конспект лекций по курсу «Теория, расчет и проектирование биотехнических аппаратов и систем». Часть I. «Аппаратура для функциональной диагностики». – Харьков: ХИРЭ, 1993. – 132 с. 2. Измерение частоты сердечных сокращений в процессе физиотерапевтических воздействий / *Е.Ю. Демидова* // VI Університетська науково-практична студентська конференція магістрантів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: матеріали конференції: у 4-х ч. – Ч. 3 / – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – С.11-13. 3. Heart Rate Variability Predicts ESRD and CKD-Related Hospitalization / *Daniel J. Brotman, Lori D. Bash, Rehan Qayyum, Deidra Crews, Eric A. Whitsel, Brad C. Astor, and Josef Coresh* // Journal of the American Society of Nephrology 2010 – P.1560-1570. 4. Роль холтеровского мониторирования в обследовании больных без ишемической болезни сердца / *Л.М.Макаров* // Вестник аритмологии, №26, 2002. – С.26-30. 5. *Малая медицинская энциклопедия.* – М.: Медицинская энциклопедия. 1991 – 96 гг. 6. Физиология человека. В 3-х т. Т. 2. Пер с англ. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. — М.: Мир, 1996. — 313 с. 7. *Шурыгин И. А.* Мониторинг дыхания в анестезиологии и интенсивной терапии. – СПб.: «Издательство «Диалект», 2003. – 416 с. 8. Анализ методов измерения ритмических физиологических показателей человека при проведении физиотерапевтических процедур / *А.В. Кипенский, Б.М. Горкунов, В.В. Куличенко, Р.С. Томашевский, Е.И. Король, Е.Ю. Демидова* // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Силова електроніка та енергоефективність. / Київ: ІЕД НАНУ, 2012. – Ч.2. – С.180-186.

*Надійшла до редколегії 15.03.2013*

УДК 615.47

**Анализ динамической погрешности измерения среднего значения частоты сердечных сокращений / А. В. Кипенский, В. В. Куличенко, Р. С. Томашевский, Е. Ю. Демидова** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», – 2013. - № 18 (991). – С. 143-148. – Бібліогр.: 8 назв.

У статті представлено аналіз динамічної похибки вимірювання середньої частоти серцевих скорочень за методом «ковзаючого середнього». Основна увага приділяється можливим рішенням для зменшення динамічної похибки при вимірюванні середнього значення частоти серцевих скорочень.

**Ключові слова:** ковзаюче середнє, динамічна похибка, частота серцевих скорочень

The paper presents an analysis of the dynamic error of measurement the average value heart rate by the "moving average" method. The major attention is paid to the possible solutions to reduce the dynamic error in the measurement of the average value of heart rate.

**Keywords:** moving average, dynamic error, heart rate