

до зниження матеріалоемності, трудомісткості й експлуатації АВ диктують необхідність створення нових і модернізації вже існуючих конструкцій у напрямку скорочення матеріальних, трудових і енергетичних витрат при розробці, виробництві й експлуатації. В результаті випробувань було встановлено, що АВ типу ВА 51-39 на номінальний струм 630 А має запас з нагріву й зносостійкості, та зі збереженням базових габаритів.

**Список літератури:** 1. Залесский А.М., Кукеков Г.А. Тепловые расчеты электрических аппаратов.-Л.: Энергия, 1967.-378 с. 2. ГОСТ 8024-90. Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний. Введ. 01.01.1991.-М.: Госстандарт, 1991.-31 с. 3. Правила устройства электроустановок.- Харьков: Форт, 2011.-708 с.

УДК 615.471

**ДЕМИДОВА Е. Ю.**

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

Среднее значение частоты сердечных сокращений (ЧСС) измеряется в тех случаях, когда необходимо получить информацию о деятельности сердечно-сосудистой системы в целом [1]. Такие измерения проводятся как на этапе постановки диагноза, так и в процессе проведения некоторых физиотерапевтических процедур [2]. В ходе проведенных исследований было установлено, что для решения задачи измерения среднего значения ЧСС наиболее целесообразно представлять физиологический сигнал (биоэлектрические потенциалы, тоны сердца, пульсации сосудов) в виде импульсной последовательности и использовать метод «скользящего среднего» [3].

Целью данной работы является анализ динамической погрешности измерения среднего значения частоты сердечных сокращений методом «скользящего среднего».

Суть метода «скользящего среднего» состоит в том, что первоначально измеряются текущие значения  $T_{CCj}$  каждого из  $M$  периодов сердечных сокращений (рис. 1, а). Для этого наиболее целесообразно использовать импульсно-цифровой преобразователь (ИЦП) с классическим методом последовательного счета. После этого, тем или иным образом, вычисляется среднее значение периода. Далее процессы повторяются: каждое новое измеренное значение периода  $T_{CC(M+j)}$  учитывается при определении очередного среднего значения вместо значения периода  $T_{CCj}$ , измеренного  $M$  периодов назад.

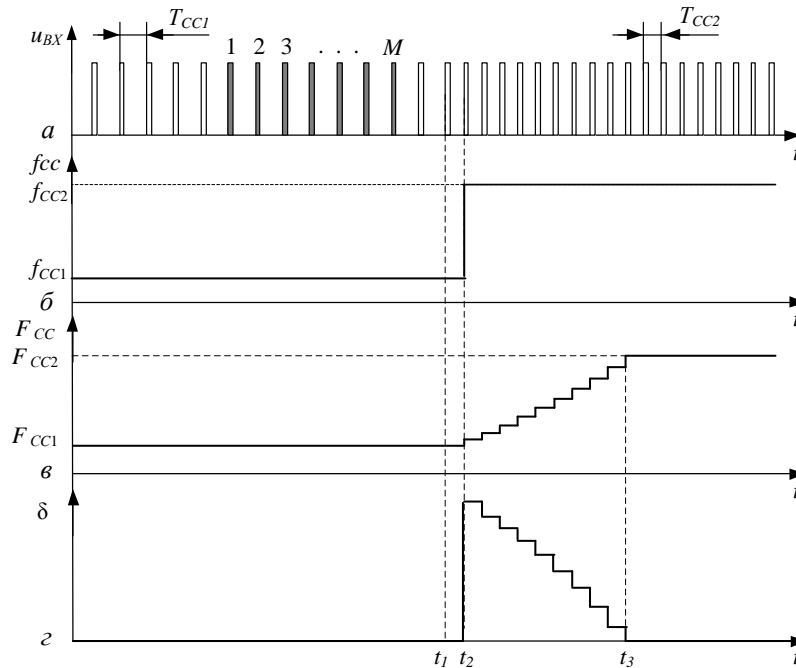


Рис. 1

При использовании простейшего варианта усреднения, который называется «простым скользящим», выражение для вычисления среднего значения периода сердечных сокращений будет иметь вид

$$T_{CC}^{PC} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M T_{CCj},$$

где  $T_{CCj}$  – текущее значение  $j$ -го периода сердечных сокращений, измеренное в пределах интервала усреднения.

Среднее значение ЧСС, выраженное в  $\text{мин}^{-1}$ , при этом может быть вычислено помощью некоторого вычислителя (например, микроконтроллера), как

$$F_{CC}^{PC} = \frac{60}{T_{CC}^{PC}}.$$

Пусть в некоторый момент времени  $t_1$  (рис. 1, б) произошли изменения в сердечно-сосудистой системе и к моменту времени  $t_2$  ЧСС изменилась от значения  $f_{CC1}$  до значения  $f_{CC2}$ . С учетом особенностей усреднения рассматриваемым методом «скользящего среднего» вычисленные средние значения ЧСС окончательно достигнут своего нового значения  $F_{CC2}^{PC}$  лишь к моменту  $t_3$ , т.е. по истечении временного интервала полной реакции ИЦП, равного  $\tau_{ПР} = M \cdot T_{CC2}$  (см. рис. 1, в). При этом отклонения значений  $F_{CCi}^{PC}$  на интервале  $t_2-t_3$  от значения  $F_{CC2}^{PC}$  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 адекватная реакция не только со стороны обслуживающего медицинского персонала, но и со стороны измерительной аппаратуры, которая, например, в такой ситуации должна сформировать сигнал для изменения параметров физиотерапевтического воздействия. В общем случае динамическая погрешность может быть вычислена на каждом периоде сердечных сокращений по выражению

$$\delta = \frac{|F_{CC2} - F_{CCi}|}{F_{CC2}} \cdot 100\% .$$

Изменение значения динамической погрешности при скачкообразном изменении ЧСС (для случая  $M = 10$ ,  $f_{CC1} = 60 \text{ мин}^{-1}$  и  $f_{CC2} = 90 \text{ мин}^{-1}$ ) показано на рис. 1, 2. Полезным в данном случае оказывается и оценка среднеквадратичного отклонения среднего значения ЧСС на интервале  $t_2-t_3$  от своего нового значения. Такое отклонение можно рассчитать по выражению

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (F_{CC2} - F_{CCi})^2} .$$

Результаты расчетов максимального значения  $\delta_{\max}$  динамической погрешности (при  $t = t_2$ ) и среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  для рассмотренного случая сведены в табл. 1.

Для снижения динамической погрешности измерения среднего значения ЧСС предлагается уменьшать продолжительность интервала усреднения. В табл. 1 также приведены результаты расчета  $\delta_{\max}$  и  $\sigma$  для случаев усреднения по 5 и по 3 периодам. Из таблицы видно, что при уменьшении интервала усреднения до 3-х периодов максимальное значение динамической погрешности снижается в 1,35 раза, а среднеквадратичное отклонение – в 2,26 раза.

Кроме того, были проведены исследования при использовании других вариантов метода «скользящего среднего». В частности, среднее значения ЧСС определялось как «взвешенное среднее» и «экспоненциальное среднее» [3]. Результаты этих исследований также сведены в табл. 1.

Таблица 1. Рассчитанные параметры при использовании разных методов усреднения и для различных окон усреднения

	M=10			M=5			M=3		
	$\delta_{\max}, \%$	$\sigma$	$\tau_{PP}, \text{с}$	$\delta_{\max}, \%$	$\sigma$	$\tau_{PP}, \text{с}$	$\delta_{\max}, \%$	$\sigma$	$\tau_{PP}, \text{с}$
Скользящее среднее	30	4,13	6,67	26,67	2,68	3,36	22,22	1,83	1,98
Взвешенное среднее	27,2 7	3,123	6,67	22,22	1,97	3,36	16,67	1,29	1,98
Экспоненциальное среднее	27,2 7	3,49	20,4	22,22	2,19	9,6	16,67	1,41	6

Анализ табл. 1 позволяет сделать вывод о том, что при наличии скачкообразных изменений, среднее значение ЧСС наиболее целесообразно определять как «взвешенное среднее». При этом и максимальное значение

динамической погрешности, и среднеквадратичное отклонение оказываются ниже.

**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.** 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.

\* Работа выполнена под руководством проф. А.В. Кипенского