

БІОЛОГІЧНІ ТА МЕДИЧНІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 621.3

А. Я. Кулик, В. В. Мотигін, В. М. Дідич

РЕЄСТРАЦІЯ ТА ОБРОБЛЮВАННЯ СИГНАЛУ ЕКГ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ АДАПТАЦІЇ

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова, м. Вінниця

Анотація. Часова організація коливань мікроальтернатив ЕКГ-сигналу протягом доби, як і коливань частоти пульсу, артеріального тиску та інших фізіологічних показників формується під впливом біологічних ритмів діяльності симпатичної та парасимпатичної ланок вегетативної нервової системи, а також добової динаміки вмісту нейрогуморальних субстанцій (кортизола, ТТГ, інсуліну, опіоїдів, вазоактивних пептидів тощо), які прямо чи опосередовано приймають участь у регуляції серцево-судинної системи. Електрокардіографія залишається найбільш розповсюдженим, доступним і дешевим методом об'єктивного дослідження серця. Разом з тим, чутливість і специфічність звичайного електрокардіографічного дослідження недостатньо високі, що вимагає від дослідників постійно шукати нові підходи до вирішення задач аналізу та інтерпретації ЕКГ. Сучасні комп'ютерні системи дозволяють на основі аналізу ЕКГ отримувати інформацію щодо функціонального стану людини в різних умовах. Створені носимі мініатюрні системи для неперервного запису електрокардіограми протягом доби і більше. Але, разом з цим, розвиваються нові методи і технології реєстрації і оброблювання біомедичних сигналів. В сучасних технологіях практично не приділяється увага обґрунтуванню вибору параметрів для реєстрації ЕКГ. Для цього потрібно чітко визначати частоту дискретизації і довжину реалізації реєстрованого процесу. Поставлена мета досягається тим, що реєстрація ЕКГ здійснюється в два етапи із реалізацією алгоритма адаптації. Введення адаптивної реєстрації дозволяє оптимізувати процедуру, мінімізувати динамічну похибку, зменшити кількість реєстрованих значень, скоротити використовуваний обсяг пам'яті, спростити оброблювання результатів тощо. Запропонована структура пристрою, яка дозволяє здійснювати реєстрацію ЕКГ комп'ютерною системою в адаптивному режимі. Пропонується математичний апарат для розрахунку необхідних параметрів.

Ключові слова: комп'ютерна система, електрокардіограма, адаптація.

Аннотация. Временная организация колебаний микроальтернатив ЭКГ-сигнала на протяжении суток, как и колебаний частоты пульса, артериального давления и других физиологических показателей формируется под влиянием биологических ритмов деятельности симпатического и парасимпатического звеньев вегетативной нервной системы, а также суточной динамики содержания нейрогуморальных субстанций (кортизола, ТТГ, инсулина, опиоидов, вазоактивных пептидов и т.д.), которые прямо или опосредованно принимают участие в регуляции сердечно-сосудистой системы. Электрокардиография остаётся наиболее распространённым, доступным и дешёвым методом объективного исследования сердца. Вместе с тем, чувствительность и специфичность обычного электрокардиографического исследования недостаточно высоки, что требует от исследователей постоянно искать новые подходы к решению задач анализа и интерпретации ЭКГ. Современные компьютерные системы позволяют на основе анализа ЭКГ получать информацию о функциональном состоянии человека в различных условиях. Созданы носимые миниатюрные системы для непрерывной записи электрокардиограммы на протяжении суток и больше. Но, вместе с тем, развиваются новые методы и технологии регистрации и обработки биомедицинских сигналов. В современных технологиях практически не уделяется внимание обоснованию выбора параметров для регистрации ЭКГ. Для этого необходимо чётко определять частоту дискретизации и длину реализации регистрируемого процесса. Поставленная цель достигается тем, что регистрация ЭКГ осуществляется в два этапа с реализацией алгоритма адаптации. Введение адаптивной регистрации позволяет оптимизировать процедуру, минимизировать динамическую погрешность, уменьшить количество регистрируемых значений, сократить используемый объём памяти, упростить обработку результатов и т.д. Предложена структура устройства, позволяющая осуществлять регистрацию ЭКГ компьютерной системой в адаптивном режиме. Предлагается математический аппарат для расчёта необходимых параметров.

Ключевые слова: компьютерная система, электрокардиограмма, адаптация.

Abstract. The temporal organization of oscillations of microalterations of an ECG signal throughout the day, as well as fluctuations of the pulse frequency, arterial pressure and other physiological indicators, is formed under the influence of biological rhythms of activity of the sympathetic and parasympathetic links of the autonomic nervous system, as well as the daily dynamics of the content of neurohumoral substances (cortical ash, TSH, insulin, opioids, vasoactive peptides, etc.) that are directly or indirectly involved in the regulation of the cardiovascular system. Electrocardiography remains the most common, affordable and cheap method of objective examination of the heart. However, the sensitivity and specificity of conventional electrocardiographic studies are not high enough, which requires researchers to constantly look for new approaches to solving problems in the analysis and interpretation of ECG. Modern computer systems make it possible, on the basis of ECG analysis, to obtain information about the functional state of a person in various conditions. Were created portable miniature systems for continuous electrocardiogram recording for a day or more. But at the same time, new methods and technologies are being developed for recording and processing biomedical signals. In modern technologies, almost no attention is paid to the justification of the choice of parameters for ECG recording. To do this, it is necessary to clearly determine the sampling rate and the length of the implementation of the registered process. This goal is achieved by the fact that ECG registration is carried out in two stages with the implementation of the adaptation algorithm. Introduction of adaptive registration allows optimizing the procedure, minimizing the dynamic error, reducing the number of registered values, reducing the used memory size, simplifying the processing of results, etc. A structure of the device is proposed that allows ECG registration by a computer system in an adaptive mode. A mathematical apparatus is proposed for calculating the required parameters.

Key words: computer system, electrocardiogram, adaptation.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2018-43-3-4-9>.

Вступ

Часова організація коливань мікроальтернатив ЕКГ-сигналу протягом доби, як і коливань частоти пульсу, артеріального тиску та інших фізіологічних показників формується під впливом біологічних ритмів діяльності симпатичного та парасимпатичного ланцюгів вегетативної нервової системи, а також добової динаміки вмісту нейрогуморальних субстанцій (кортизола, ТТГ, інсуліну, опіоїдів, вазоактивних

пептидів тощо), які прямо чи опосередовано приймають участь у регуляції серцево-судинної системи [1 – 3].

Відомо, що циркадні ритми формувались під час еволюції для синхронізації більшості найважливіших функцій організму під час адаптації до впливу факторів зовнішнього середовища. Дослідження останніх років показали, що клітини периферійних тканин та органів спроможні генерувати самопідтримувальні ритми і змінювати їх відповідно до локальних потреб. Часова організація фізіологічних процесів є абсолютною необхідністю життєдіяльності організмів. Вона властива всім рівням організації живої матерії (від молекул до системних структур). Становлення і розвиток біологічної часової системи здійснюється згідно відповідної генетичної програми і корелюється відповідно до ортогенезу. У людини виявлено більше ста функцій, які мають добовий ритм.

Велика увага в біоритмології приділяється дослідженню ритмів серцевої діяльності. Серцевий ритм є біоритмологічною категорією, яка була об'єктом вивчення лікарів і вчених ще у прадавні часи. Пульсова діагностика виникла у прадавньому Китаї і Тибеті. З тих часів ритм серця розглядається не лише як джерело інформації щодо системи кровообігу, але і як індикатор психічних, енергетичних, метаболічних та інших процесів, що відбуваються в організмі [4, 5]. Останнім часом пульсова діагностика отримала подальший розвиток у дослідженнях щодо вивчення варіабельності серцевого ритму.

Потрібно зауважити, що один з перспективних підходів, розроблений у Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій і систем НАН і МОН України і реалізований у портативному діагностичному центрі ФАЗОГРАФ, базується на переході від подання ЕКГ у часовій області до її фазового портрету з урахуванням похідної сигналу щодо електричної активності серця [6].

Актуальність

Електрокардіографія залишається найбільш розповсюдженим, доступним і дешевим методом об'єктивного дослідження серця. Разом з тим, чутливість і специфічність звичайного електрокардіографічного дослідження недостатньо високі, що вимагає від дослідників постійно шукати нові підходи до вирішення задач аналізу та інтерпретації ЕКГ.

Сучасні комп'ютерні системи дозволяють на основі аналізу ЕКГ отримувати інформацію щодо функціонального стану людини в різних умовах. Створені носимі мініатюрні системи для неперервного запису електрокардіограми протягом доби і більше. Але, разом з цим, розвиваються нові методи і технології реєстрації і оброблювання біомедичних сигналів [7 – 9].

Мета

В сучасних технологіях практично не приділяється увага обґрунтуванню вибору параметрів для реєстрації ЕКГ. Для цього потрібно чітко визначати частоту дискретизації і довжину реєстрованого процесу.

Задачі

1. Першою задачею є обґрунтування вибору частоти дискретизації під час реєстрації ЕКГ.
2. Не менш важливою задачею є визначення кількості періодів реєстрованої електрокардіограми.

Розв'язання задач

Узагальнений вигляд ЕКГ наведений на рис. 1. Перша задача реєстрації електрокардіограми полягає в забезпеченні необхідної взаємодії між вимірювальною частиною пристрою і модулем реєстрації даних, завдяки чому підвищується ефективність реєстрації інформації. Для цього необхідно оптимізувати час дискретизації сигналу. Занадто великий час дискретизації призводить до втрати інформації, а занадто малий – до зайвої деталізації, а внаслідок цього до збільшення кількості реєстрованих значень, нераціональних втрат об'єму пам'яті, ускладнення оброблювання результатів тощо.

Поставлена задача досягається тим, що реєстрація ЕКГ здійснюється в два етапи. На першому здійснюється попередня реєстрація протягом одного – двох періодів ЕКГ. При цьому час дискретизації відповідає тривалості циклу обміну даними. Для одного інформативного каналу він складає

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{Пуск}} + T_{\text{АЦП}} + T_{\text{зч}} + T_{\text{ск}}, \quad (1)$$

де $T_{\text{Пуск}}$ – тривалість процедури встановлення сигналу "Пуск" АЦП;

$T_{\text{АЦП}}$ – тривалість циклу перетворення АЦП;

$T_{\text{зч}}$ – тривалість циклу зчитування даних;

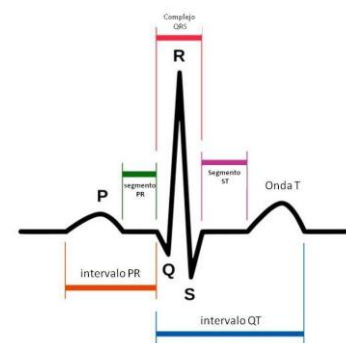


Рисунок 1 – Узагальнений вигляд ЕКГ

$T_{ск}$ – тривалість процедури скидання сигналу "Пуск" АЦП.

Для багатоканальної системи вираз (1) набуває вигляду

$$T_{ц} = (T_{Пуск} + T_{АЦП} + T_{зч} + T_{ск}) \cdot N, \quad (2)$$

де N – кількість інформативних вимірювальних каналів.

Оскільки здебільшого тривалість циклу встановлення і скидання сигналу "Пуск" АЦП однакові, можна отримати

$$T_{ц} = (2T_{Пуск} + T_{АЦП} + T_{зч}) \cdot N. \quad (3)$$

Після цього здійснюється аналіз зареєстрованих значень і визначаються параметри зубця R ЕКГ (рис. 1), на підставі чого можна оцінити оптимальний час дискретизації.

Крім цього необхідно оцінити кількість реєстрованих періодів ЕКГ, що є другою важливою задачею. Параметри ЕКГ здорової людини відомі [10]. Виходячи з цих даних період становить приблизно 0,8 с. Реєстрація протягом 2 с дозволяє зареєструвати 2 періоди, навіть з урахуванням аномалій. Після цього точно визначається період кардіограми і розраховуються необхідна кількість реєстрованих значень. При цьому користуються імовірісно-статистичним підходом, використовуючи оцінку шуканої імовірності p [9]. Тобто

$$p\left(\frac{k}{n} < x\right) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{k/n}^2}} \exp\left(-\frac{\left(\frac{k}{n} - m_{k/n}\right)^2}{2\sigma_{k/n}^2}\right) d\frac{k}{n}. \quad (4)$$

При достатньо великих значеннях n

$$p\left(\frac{\frac{k}{n} - m_{k/n}}{\sigma_{k/n}} < \frac{\Delta}{\sigma_{k/n}}\right) = F\left(\frac{n \cdot \Delta}{\sigma_{k/n}}\right). \quad (5)$$

Задаючись імовірністю p , можна отримати оцінку k/n

$$p\left(\frac{k}{n} - p < \Delta\right) = h_{\text{дон}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \quad (6)$$

де $h_{\text{дон}}$ – значення інтеграла Лапласа для імовірності p .

$$\Delta = h_{\text{дон}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}. \quad (7)$$

Звідки

$$n = h_{\text{дон}} \cdot \frac{p(1-p)}{\Delta^2}. \quad (8)$$

Таким чином, вибираючи допустиму імовірність та похибку реєстрації, можна визначити кількість необхідно реєстрованих періодів ЕКГ. Для $p = 0,997$ та $\Delta = 0,1$ кількість періодів становить $n = 11$.

Кількість реєстрованих значень розраховується за формулою

$$N = \frac{n \cdot T_{EKG}}{T_u}, \quad (9)$$

де n – кількість необхідних реєстрованих періодів ЕКГ;
 T_{EKG} – тривалість періоду ЕКГ.



Рисунок 2 – Структура пристрою для реєстрації ЕКГ

Період ЕКГ доцільно визначати за зубцем R , як показано на узагальненому вигляді ЕКГ (рис. 1). При цьому зведена похибка не перевищує значення

$$\delta_3 = \frac{T_u}{T_{EKG}} \cdot 100\% . \quad (10)$$

Після цього здійснюється аналіз зареєстрованих значень і визначаються параметри зубця R ЕКГ, на підставі чого можна оцінити оптимальний час дискретизації.

На другому етапі вводиться часова затримка, яка до цього дорівнювала нулю, таким чином, щоб цикл опитування відповідав оптимальному часу дискретизації.

$$T_u = (2T_{\text{Пуск}} + T_{\text{АЦП}} + T_{\text{зч}} + T_3) \cdot N, \quad (11)$$

де T_3 – час затримки для досягнення оптимального режиму дискретизації;

або для одного каналу

$$T_u = 2T_{\text{Пуск}} + T_{\text{АЦП}} + T_{\text{зч}} + T_3, \quad (12)$$

Даний спосіб доцільно виконувати на базі персонального комп'ютера або однокристального мікроконтролера (рис. 2). Процедура реєстрації наведена на рис. 3.

Таким чином, даний алгоритм можна визначити через певну послідовність операцій, які містяться в двох етапах:

- підключають датчики за стандартною методикою;
- здійснюють ініціалізацію паралельного інтерфейсу мікропроцесорної системи;
- здійснюють попередню реєстрацію ЕКГ, для чого:
 - встановлюють таймер на час 2 с;
 - встановлюють затримку T_3 рівною нулю;
 - переходять до вкладеної процедури реєстрації ЕКГ, для чого:
 - формують сигнал "Пуск" аналого-цифрового перетворювача;
 - дані піддають оброблюванню за допомогою аналого-цифрового перетворення;
 - процес перетворення даних контролюють за встановленням сигналу "Кінець перетворення";
 - при встановленні сигналу "КП" здійснюють зчитування даних з паралельного інтерфейсу;
 - перевіряють вміст лічильника зареєстрованих значень, визначаючи чи всі дані зареєстровані;
 - якщо ні, то скидають сигнал "Пуск" АЦП і цикл повторюють;
- здійснюють визначення параметрів зубця R зареєстрованої послідовності даних;
- визначають значення похідної інформативного сигналу;
- визначають оптимальний час дискретизації T_u ;
- визначають час затримки T_3 ;

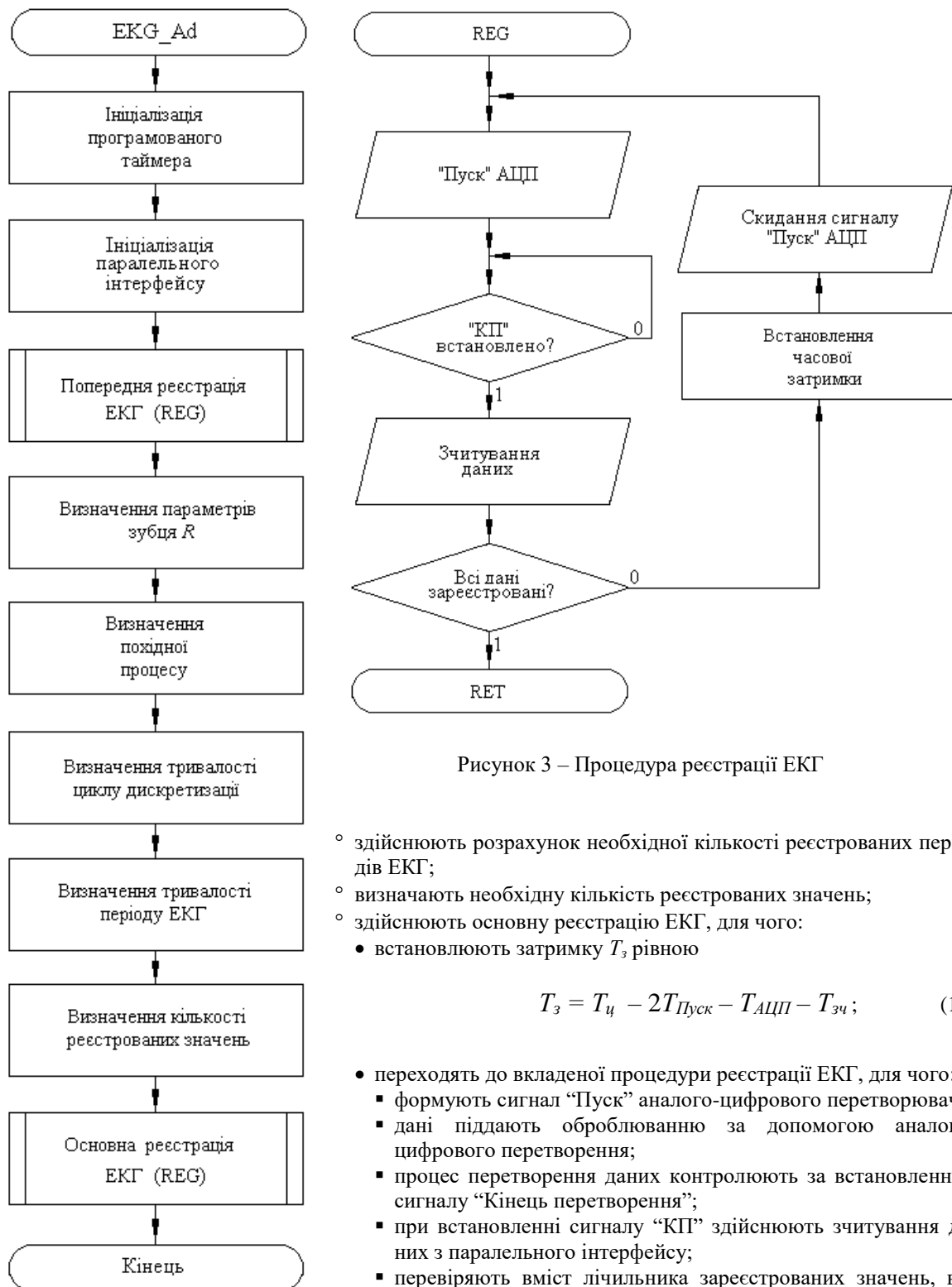


Рисунок 3 – Процедура реєстрації ЕКГ

- здійснюють розрахунок необхідної кількості реєстрованих періодів ЕКГ;
- визначають необхідну кількість реєстрованих значень;
- здійснюють основну реєстрацію ЕКГ, для чого:
 - встановлюють затримку T_z рівною

$$T_z = T_{\text{ц}} - 2T_{\text{Пуск}} - T_{\text{АЦП}} - T_{\text{зч}}; \quad (13)$$

- переходять до вкладеної процедури реєстрації ЕКГ, для чого:
 - формують сигнал "Пуск" аналого-цифрового перетворювача;
 - дані піддають оброблюванню за допомогою аналого-цифрового перетворення;
 - процес перетворення даних контролюють за встановленням сигналу "Кінець перетворення";
 - при встановленні сигналу "КП" здійснюють зчитування даних з паралельного інтерфейсу;
 - перевіряють вміст лічильника зареєстрованих значень, визначаючи чи всі дані зареєстровані;

- якщо ні, то скидають сигнал "Пуск" АЦП і цикл повторюють;
- аналіз серцевого ритму здійснюють з використанням стандартної методики;
- результати зберігають в пам'яті і виводять на монітор чи принтер.

Висновки

1. Введення адаптивної реєстрації дозволяє оптимізувати процедуру, мінімізувати динамічну похибку, зменшити кількість реєстрованих значень, скоротити використовуваний обсяг пам'яті, спростити оброблення результатів тощо.
2. Запропонована структура пристрою, яка дозволяє здійснювати реєстрацію ЕКГ комп'ютерною системою в адаптивному режимі.
3. Пропонується математичний апарат для розрахунку необхідних параметрів.

Список літератури

1. Иванов Г. Г. Минутная, циркадная и сезонные колебания микроальтераций ЭКГ-сигнала по данным дисперсионного картирования / Г. Г. Иванов, Р. М. Баевский, Г. Гази и др. // Клиническая информатика и телемедицина. – 2013. – Т. 9. Вып. 10 – С. 25 – 32.
2. Lokatua D. Molecular and genetic aspects of chronobiology // Heidelberg: Springer-Verlang. – 1992. – 216 p.
3. Заславская Р. М. Хронодиагностика и хронотерапия заболеваний сердечно-сосудистой системы / Р. М. Заславская. – М.: Медицина. – 1991. – 319 с.
4. Баевский Р. М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л.В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2002. – № 24. – С. 65.
5. Никулина Г. А. К вопросу о «медленных» ритмах сердца / Г. А. Никулина. – В кн.: Математические методы анализа сердечного ритма. – М.: Наука. – 1968. – С. 56.
6. Файзильберг Л. С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л. С. Файзильберг. – К.: Освіта України, 2013. – 191 с.
7. Кулик А. Я. Реєстрація і оброблення сигналу ЕЕГ з використанням поліномів Чебишева / А. Я. Кулик, Т. Г. Ревіна, М. В. Боднар // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2018. – № 2. – С. 133 – 138.
8. Кулик А. Я. Оброблення сигналу ЕКГ з використанням поліномів Лежандра / А. Я. Кулик // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2018, № 1. – С. 4 – 10.
9. Кулик А.Я. Експеримент в медицині. Комп'ютерні системи та інформаційні технології / А. Я. Кулик, Т. Г. Вуж, Б. Ф. Коваль. – Вінниця: ВНМУ, 2018. – 145 с.
10. Абакумов В.Г. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів / В.Г. Абакумов, З.Ю. Готра, С.М. Злепко та ін. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 352 с.
Стаття надійшла: 10.10.18.

Відомості про авторів

Кулик Анатолій Ярославович – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри біофізики, інформатики та медапаратури Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова.

Мотигін Володимир В'ячеславович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біофізики, інформатики та медапаратури Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова.

Дідіч Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри біофізики, інформатики та медапаратури Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова.

А. Я. Кулик, В. В. Мотыгин, В. Н. Дидыч

РЕГИСТРАЦИЯ И ОБРАБОТКА СИГНАЛА ЭКГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ

Винницкий национальный медицинский университет им. Н. И. Пирогова, г. Винница

A. Y. Kulyk, V. V. Motygin, V. M. Didych

ECG SIGNAL REGISTRATION AND PROCESSING USING THE ADAPTATION ALGORITHM

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya