

УДК 519.213:519.2

# Розвиток методів та алгоритмів обчислення періоду стохастичних біомедичних сигналів для медичних комп'ютерно-діагностичних систем

Хвостівська Л. В., Осухівська Г. М., Хвостівський М. О., Шадріна Г. М., Дедів І. Ю.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

E-mail: [hvostivskyi@ukr.net](mailto:hvostivskyi@ukr.net)

Розроблено метод та алгоритм обчислення періоду стохастичного біомедичного сигналу, який характеризується високою роздільною здатністю та швидкодією, придатний для використання у біомедичних комп'ютерно-діагностичних системах. Метод та алгоритм реалізовано на основі процедури пошуку мінімуму функціоналу варіації середніх значень центрованого біомедичного сигналу. Проаналізовано результати роботи існуючих алгоритмів обчислення періоду біомедичних сигналів відомими методами, в основу яких покладено: усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями реалізації біосигналу, усереднення інтервалів між максимальними значеннями амплітудних спектрів біосигналу, усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями автокореляційної функції сигналу та усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями спектральної густини потужності сигналу. Результати обчислення для різних методів відрізняються між собою, що призводить в подальшому до отримання неоднозначних результатів обробки біомедичного сигналу. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення для обчислення періоду стохастичного біомедичного сигналу дає можливість зменшити розмитість оцінок обчислення у складі медичних комп'ютерно-діагностичних систем, оскільки, на відміну від відомих методів, розроблений метод має малий розмах середньоквадратичного відхилення при синхронізації ансамблю реалізацій біомедичного сигналу і нижчу алгоритмічну складність, що дає можливість підвищити швидкодію обчислення. Програмне забезпечення реалізоване в середовищі Matlab. Здійснено процедуру верифікації розробленого алгоритму шляхом імітаційного моделювання. Результати верифікації на 100 % підтвердили точність визначення періоду апріорно відомого тестового сигналу.

*Ключові слова:* медична комп'ютерно-діагностична система; стохастичний біомедичний сигнал; період; алгоритм; MATLAB

DOI: [10.20535/RADAP.2019.79.78-84](https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.79.78-84)

## Вступ. Постановка задачі

Відомо, що функціонування систем і органів людини — це неоднорідний, динамічний і складно організований процес. Йому властиві повторюваність (циклічність, періодичність), значні групові та індивідуальні варіації (випадковість). Такі біомедичні сигнали як пульсовий, електрокардіо-, фонокардіо- та інші, що їх генерує організм людини впродовж певного часу спостереження, можна описати стохастичним процесом  $\xi(t)$  з апріорно невідомим значенням тривалості циклу (періоду)  $T$  та випадковими значеннями амплітуд.

Це пов'язано з тим, що різні люди функціонують по-різному, не зберігаючи однорідності своєї діяльності. При цьому наявна значна варіація часових інтервалів фізичної, розумової, психологічної праці та ін., а також у структурах систем та органів

людини можливе існування складових одиниць із патологічними ознаками функціонування.

Для визначення функціонального стану систем та органів людини за біомедичним сигналом (БС) із апріорно невідомими параметрами застосовують медичні комп'ютерно-діагностичні системи. Алгоритми роботи цих систем базуються на математичних методах обробки (спектральна, кореляційна, спектрально-кореляційна, вейвлет аналіз) біосигналів. Ядром таких систем є математичні моделі, які описують властивості реальних біомедичних сигналів.

Одним із важливих завдань, яке виникає у разі розробки медичних комп'ютерно-діагностичних систем, є визначення періоду (повторюваності, циклу) біосигналу. Від цього залежить коректність результатів його обробки на базі відповідної математичної моделі та методів опрацювання.

Існує ряд методів визначення періоду стохастичного біомедичного сигналу із апріорно невідомим значенням періоду, зокрема, методи усереднення інтервалів: між максимальними значеннями реалізації сигналу [1]; між максимальними значеннями амплітудних спектрів сигналу [2]; між максимальними значеннями автокореляційної функції сигналу [3–5]; між максимальними значеннями спектральної густини потужності сигналу [3, 6, 7] та метод обчислення максимального значення функції варіації біомедичного сигналу [8].

Усі наведені вище методи є індивідуальними для різних видів біомедичних сигналів. Тому необхідно розв'язати задачу пошуку періоду біомедичного сигналу, яка містить обґрунтування критерію встановлення його значення, алгоритм знаходження можливого інтервалу існування періоду, його початкового наближення та вибір способу пошуку значення періоду з множини можливих значень.

## 1 Порівняння результатів обчислення періоду біомедичного сигналу відомими методами

Проаналізуємо відомі методи обчислення періоду БС на прикладі пульсового сигналу (ПС).

Метод екстремальних значень при обчисленні періоду базується на знаходженні піків БС шляхом пошуку максимуму сигналу на  $n$ -ому інтервалі часу згідно виразу:

$$M_n = \max \{ \xi_1, \dots, \xi_n \}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (1)$$

де  $\xi_n$  — послідовність БС на  $n$ -му інтервалі часу, де здійснюється процедура визначення максимуму;  $N$  — максимальна кількість часових інтервалів, на яких здійснюється процедура визначення максимуму.

На рис. 1 проілюстровано спосіб знаходження періоду БС (на прикладі пульсового сигналу [9]) методом екстремальних значень (1).

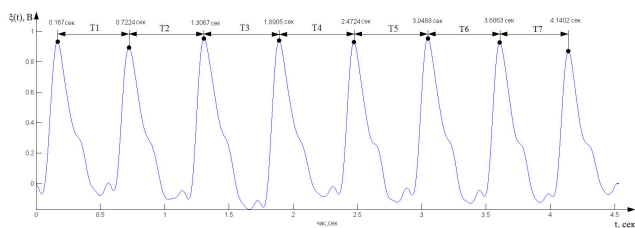


Рис. 1. Реалізація БС (на прикладі пульсового сигналу) із позначеннями максимумів та відстанями між ними

Як видно з рис. 1 на реалізації БС спостерігається зміна відстаней між максимумами кровонаповнення артерій, що призводить до зміни періоду сигналу  $T_1 \neq T_2 \neq \dots T_{n-1}$  ( $n$  — кількість максимумів). Тому для оцінювання істинного значення пері-

оду серед множини значень використовують оцінку середньостатистичного періоду  $M\{T\}$  [1].

Застосування перетворення Фур'є [2], щодо аналізу БС, дає змогу визначити у частотній (спектральній) області період сигналу шляхом усереднення інтервалів між максимумами амплітудних спектрів (рис. 2).

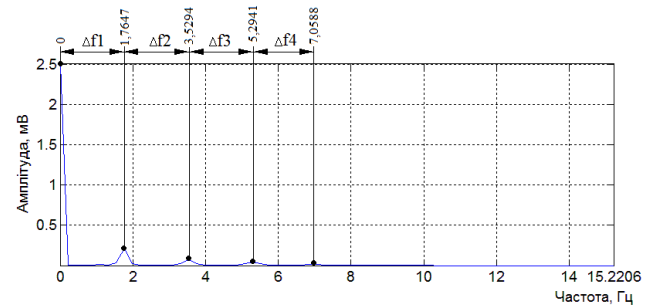


Рис. 2. Визначення періоду БС у частотній області

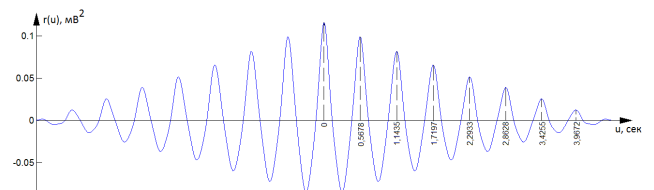
Отримані значення періоду БС із використанням перетворення Фур'є показують сталість різниці значень періоду ( $\Delta T = 1/\Delta f$ ) для усіх гармонічних складових.

У працях [3–5] для обчислення періоду БС використовують усередненні відстані між максимальними значеннями автокореляційної функції сигналу  $\xi(t)$ :

$$r(u) = \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t) \xi(t-u) dt, \quad t \in \mathbb{R}, \quad (2)$$

де  $u = T$  — величина зсуву.

На рис. 3 зображено реалізацію автокореляційної функції БС та миттєві значення часів її максимумів.



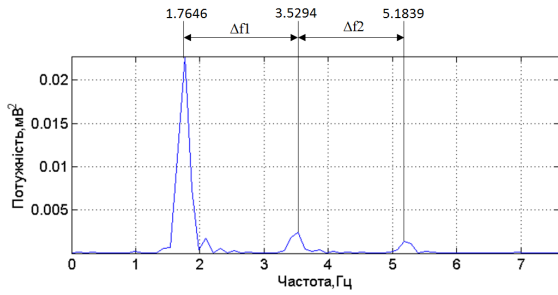


Рис. 4. Реалізація спектральної густини потужності БС із зазначеними миттєвими значеннями частот, на яких зосереджені максимуми

Отримані значення періоду БС із використанням перетворення Фур'є від кореляційної функції показують варіативність значень різниці періодів ( $\Delta T = 1/\Delta f$ ) для усіх гармонічних складових. Істинне значення періоду БС шукають шляхом обчислення середнього значення серед множини значень періодів.

У праці [8] для визначення періоду БС застосовують метод максимуму функції варіації математичного сподівання згідно виразу:

$$V(\hat{m}_\xi; [T_1; T_2]) = \sup_{\forall D_m([T_1; T_2])} \sum_{i=0, N-1} |\hat{m}_\xi(t_{i+1}) - \hat{m}_\xi(t_i)|. \quad (3)$$

На рис. 5 зображено реалізацію варіації математичного сподівання БС  $V(\hat{m}_\xi; [T_1; T_2])$ .

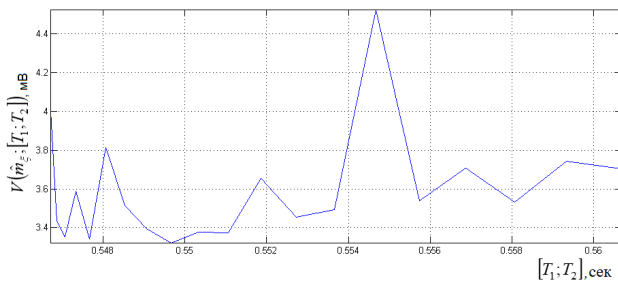


Рис. 5. Реалізація варіації математичного сподівання БС

Для цього методу за оцінку істинного значення  $\hat{T}$  періоду БС приймають значення пробного періоду, яке дає максимальне значення розмахів  $\hat{T} = \arg \max_{\{T_p\}} \Delta(\hat{m}_\xi; [T_1; T_2])$ .

На рис. 5 видно, що крива варіації  $V(\hat{m}_\xi; [T_1; T_2])$  має єдиний максимум, який локалізується у часі на значенні істинного періоду БС.

У табл. 1 подано результати обчислення значень періоду БС відомими методами.

Табл. 1 Результати обчислення значення періоду БС

№	Метод обчислення значення періоду	Значення періоду БС, сек
1	Метод екстремальних значень (усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями реалізації сигналу)	0.5676
2	Метод усереднення інтервалів між максимальними значеннями амплітудних спектрів сигналу	0.5667
3	Метод усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями автокореляційної функції сигналу	0.5667
4	Метод усереднення інтервалів між максимальними значеннями спектральної густини потужності сигналу	0.5849
5	Метод максимуму функції варіації матсподівання	0.5547

Для кожного з методів обчислене значення періоду БС є різним (табл. 1), що призводить в подальшому до розмитості результатів обробки БС у складі медичних комп'ютерно-діагностичних систем. Тому пошук оптимального значення періоду БС та розвиток методів (алгоритмів) його обчислення є актуальною науковою задачею.

## 2 Новий метод обчислення періоду біомедичного сигналу

Кожен із вищезгаданих методів передбачає свої характерні випадки застосування. У загальному ж випадку виникатимуть похибки через відхилення обчисленого значення періоду відносно його істинного значення. Процедура верифікації отриманих значень шляхом розроблення кількісного критерію, методу та алгоритму вибору істинного періоду дасть змогу контролювати появу таких похибок.

Ядром нового методу обчислення періоду БС є той факт, що в центрованого БС  $\xi^0(t, T)$  без стохастичної складової (сталі значення періоду  $T$ ) середнє значення норми (довжини вектора) сигналу буде прямувати до нуля:

$$M_t \left\{ \left| \xi^0(t, T) \right| \right\} \rightarrow 0, \quad t \in \mathbb{R}. \quad (4)$$

За такого припущення необхідно задати функцію  $M_\xi(T)$  усереднених значень центрованого БС,

яка мала би точну нижню границю на інтервалі  $[T_{min}; T_{max}]$ :

$$\inf_{(\forall T \in [T_{min}; T_{max}]) t \in \mathbb{R}} \left( M_t \left\{ \left| \xi^0(t, T) \right| \right\} \right) \rightarrow 0, \quad (5)$$

У математичному сенсі для розроблення кількісного методу та алгоритму обчислення періоду БС задано функцію варіації середніх значень норм центрованого БС  $M_\xi(T)$ , які будуть обчислені для різних значень пробного періоду  $T$  з інтервалу  $[T_{min}; T_{max}]$  ( $T_{min} \leq T \leq T_{max}$ ):

$$M_\xi(T) = \inf_{\forall D(T \in [T_{min}; T_{max}]) t \in \mathbb{R}} \left( M_t \left\{ \left| \xi^0(t, T) \right| \right\} \right), \quad (6)$$

де  $\xi^0(t, T)$  – центрований БС:

$$\xi^0(t, T) = \xi(t) - \widehat{m}_\xi(t, T), \quad (7)$$

де  $\xi(t)$  – реалізація БС;  $\widehat{m}_\xi(t, T)$  – математичне сподівання реалізації  $\xi(t)$ :

$$\widehat{m}_\xi(t, T) = \sum_{k=0}^{K-1} \chi_{D_k}(t) \widehat{m}_\xi^T(t + kT), \quad t \in \mathbb{R}, \quad (8)$$

де  $k$  – номер періоду;  $\chi_{D_k}(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t \in D_k, \\ 0, & \text{якщо } t \notin D_k, \end{cases}$  – індикаторна функція Хевісайда;  $D_k = [kT, (k+1)T)$  – інтервал часу  $k$ -го періоду БС;  $\widehat{m}_\xi^T(t, T)$  – оцінка математичного сподівання БС:

$$\widehat{m}_\xi^T(t, T) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \xi_k(t), \quad t \in [0, T). \quad (9)$$

Значення пробного періоду (мінімальне середнє значення довжини вектора центрованого БС) буде прийнято за оцінку істинного значення періоду  $\widehat{T}$ :

$$\widehat{T} = \arg \min_T (M_\xi(T); [T_{min}; T_{max}]). \quad (10)$$

Для знаходження мінімального значення використано функціонал варіації середніх значень центрованого БС  $M_\xi(T)$ , в основі якого є чисельний метод перебору усіх можливих значень пробного періоду  $T_{\Pi}$  з дискретного часового ряду на інтервалі  $[T_{min}; T_{max}]$  з кроком перебору, що дорівнює періоду дискретизації БС.

### 3 Новий алгоритм обчислення періоду біомедичного сигналу

На основі виразів (6) та (10) розроблено алгоритм обчислення періоду, поданий на рис. 6.

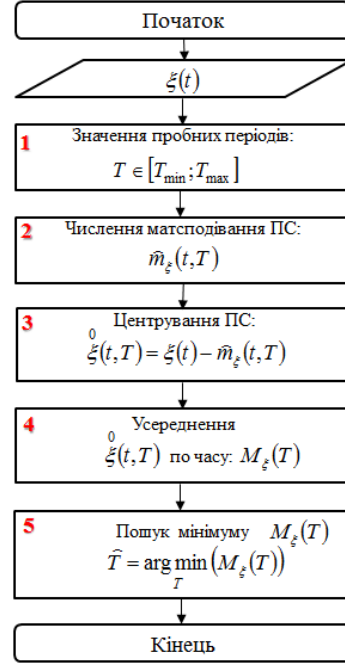


Рис. 6. Алгоритм обчислення періоду БС

Відповідно до алгоритму (рис. 6) виконується завантаження даних реалізації БС  $\xi(t)$ , задається інтервал пробного періоду  $T \in [T_{min}; T_{max}]$ , обчислюється математичне сподівання реалізації  $\xi(t)$  для діапазону періодів  $\widehat{m}_\xi(t, T)$ , виконується центрування БС та пошук мінімуму по усередненій центрованій реалізації БС  $\xi^0(t, T)$ .

### 4 Перевірка працездатності алгоритму обчислення періоду біомедичного сигналу

Для перевірки працездатності розробленого методу та алгоритму обчислення періоду БС використано тестовий синусоїдальний сигнал з апріорно відомим значенням періоду (рис. 7).

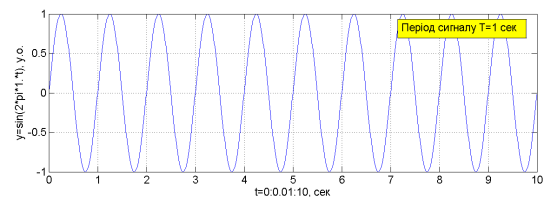


Рис. 7. Тестовий сигнал (період рівний 1 сек)

Результат обчислення середніх значень норм  $M_\xi(T)$  для тестового сигналу зображено на рис. 8.

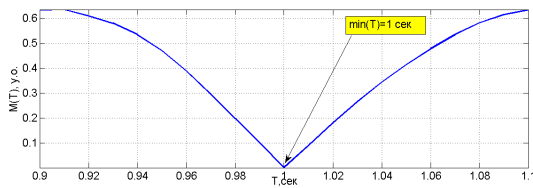


Рис. 8. Графік залежності варіації середніх значень норм центрованого тестового сигналу  $M_\xi(T)$  від часу

З графіку залежності  $M_\xi(T)$  від часу (рис. 8) видно, що крива має один чіткий мінімум на  $T = 1$  сек, що відповідає апріорно заданому значенню періоду (рис. 6). Отже розроблений метод та запропонований алгоритм дають змогу визначити точно на 100 % період сигналу, що підтверджує коректність їх роботи.

Результат обчислення  $M_\xi(T)$  для експериментального БС зображено на рис. 9.

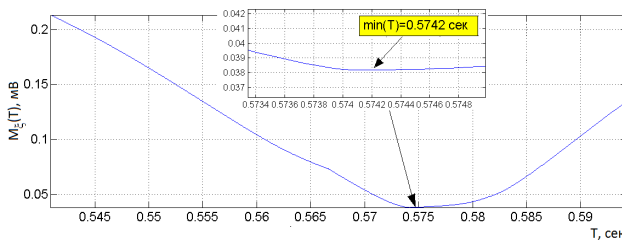


Рис. 9. Графік залежності варіації середніх значень норм центрованого БС  $M_\xi(T)$  від часу

З графіку видно, що крива  $M_\xi(T)$  має один чіткий мінімум, що і буде періодом БС, який рівний 0,575 сек.

Для відображення коректності роботи алгоритму, розкладено реалізацію БС  $\xi(t), t \in \mathbb{R}$  на ансамбль реалізацій  $\xi_k(t), t \in [0, T)$  з тривалістю  $T = 0,5742$  сек (рис. 10).

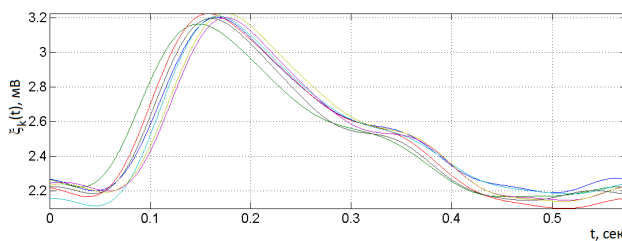


Рис. 10. Ансамбль реалізацій БС тривалістю 0,5742 сек

На рис. 10 видно, що усі реалізації є синхронізованими по фазі в часі, що додатково підтверджує працездатність методу та алгоритму визначення періоду БС.

## 5 Порівняння результатів відомих та розроблених методів обчислення періоду

Для порівняння результатів обчислення періоду БС різними методами та алгоритмами застосовано як критерій мінімальне значення максимального розмаху середньоквадратичного відхилення ансамблю реалізацій БС при різних значеннях періодів:

$$\begin{aligned} \hat{T} &= \min \left( \hat{\sigma}_{\max \xi}(t, T_k) \right) = \\ &= \min \left( \sum_{n=1}^N (\xi_n(t, T_k) - m_\xi(t, T_k))^2 \right), \\ &t \in [0, T_k), \quad k = \overline{1, K}, \quad (11) \end{aligned}$$

де  $T_k$  — апріорно визначене значення періоду БС  $k$ -им методом;  $m_\xi(t, T_k)$  — математичне сподівання реалізації  $\xi(t)$  з періодом  $T_k$ ;  $K$  — кількість визначених періодів;  $N$  — кількість реалізацій із ансамблю реалізацій  $\xi_n(t, T_k)$  БС із періодом  $T_k$ .

На рис. 11 зображено результати реалізації середньоквадратичного відхилення  $\hat{\sigma}_\xi(t, T_k)$ .

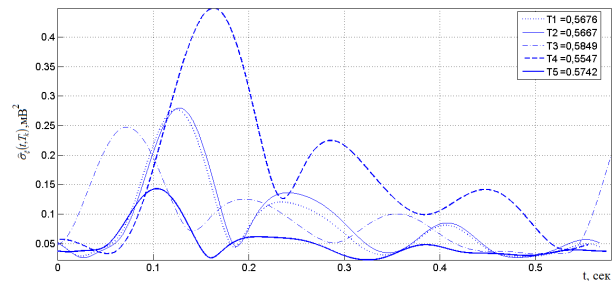


Рис. 11. Реалізації середньоквадратичного відхилення  $\hat{\sigma}_\xi(t, T_k)$  БС (для різних значень періоду, обчисленого відомими та розробленими методами):  $T_1$  — період, обчислений методом екстремальних значень;  $T_2$  — період, обчислений методом усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями автокореляційної функції та амплітудних спектрів сигналу;  $T_3$  — період, обчислений методом усереднення інтервалів між максимальними значеннями спектральної густини потужності сигналу;  $T_4$  — період, обчислений методом максимуму функції варіації математичного сподівання;  $T_5$  — період оцінений запропонованим методом та алгоритмом.

Отримані результати обчислення максимальних розмахів середньоквадратичного відхилення  $\hat{\sigma}_\xi(t, T_k)$  при синхронізації реалізацій сигналу із значеннями періодів обчислених різними методами подано у табл. 2.

Табл. 2 Результати порівняння обчислення періоду БС різними методами

№	Метод обчислення значення періоду	$T$ , сек	$\widehat{\sigma}_\xi(t, T_k)$ , мВ <sup>2</sup>
1	Метод екстремальних значень	0,5676	0,2769
2	Метод усереднення інтервалів між максимальними значеннями амплітудних спектрів сигналу	0,5667	0,2798
3	Метод усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями автокореляційної функції сигналу	0,5667	0,2798
4	Метод усереднення інтервалів між максимальними значеннями спектральної густини потужності сигналу	0,5849	0,2473
5	Метод максимуму функції варіації матсподівання	0,5547	0,45
6	Розроблений метод та алгоритм	0,5742	0,1429

З табл. 2 видно, що реалізація БС із періодом  $T = 0,5742$  сек, який визначено розробленим методом, має найменший розмах середньоквадратичного відхилення  $\widehat{\sigma}_\xi(t, T_k)$ .

Отже отримані результати підтверджують актуальність застосування мінімуму функціоналу варіації середніх значень центрованого БС (10) для оптимального визначення періоду БС.

## Висновки та рекомендації

У статті шляхом розроблення нового методу та запропонованого на його основі алгоритму, з використанням процедури пошуку мінімуму функціоналу варіації середніх значень центрованого біомедичного сигналу, розвинуто методи та алгоритми обчислення періоду стохастичних біомедичних сигналів для медичних комп'ютерно-діагностичних систем. Встановлено, що розроблений алгоритм, враховуючи результати обчислення середньоквадратичного відхилення синхронізації реалізацій БС, забезпечує найменший його розмах, на відміну від відомих методів та алгоритмів.

## Перелік посилань

1. Gazanhes C. Etude de modulation d'amplitude consecutive a la diffusion d'une onde acoustique par une surface

agitee / C. Gazanhes. - Marseille: L'univ.provence, 1972. - 168 p.

2. Рабинер Л. Цифровая обработка речевых сигналов / Л. Рабинер, Р. Шафер. - М. : Радио и связь, 1981. - 496 с.
3. Дозорський В. Г. Синфазний метод статистичного опрацювання вокалізованих фрикативних звуків для задач діагностики голосового апарату / В. Г. Дозорський // Вісник Сумського державного університету. Сер. Технічні науки. - 2012. - № 3. - С. 16-21.
4. Баронин С. П. Автокорреляционный метод выделения основного тона речи. Пятьдесят лет спустя / С. П. Баронин // Речевые технологии. - 2008. - №2. - С. 3-13.
5. Schrupf F. Derivation of the respiratory rate from directly and indirectly measured respiratory signals using autocorrelation / F. Schrupf, M. Sturm, G. Bausch, M. Fuchs // Current Directions in Biomedical Engineering. - 2016. - Vol. 2, Iss. 1. DOI: 10.1515/cdbme-2016-0054
6. Дозорський В. Метод визначення періоду корельованості вокалізованих фрикативних звуків / В. Дозорський, Г. Шадріна // Природничі науки та інформаційні технології, 27-28 жовтня 2010 року. - Т. : ТНТУ, 2010 - Том 1. - С. 42.
7. Забитівський В. Метод визначення періоду корельованості електрокардіосигналу / В. Забитівський, Є. Яворська // Природничі науки та інформаційні технології, 27-28 жовтня 2010 року. - Т. : ТНТУ, 2010 - Том 1. - С. 43.
8. Драган Я. П. Алгоритм варіаційного визначення періоду корельованості періодично корельованого випадкового процесу як моделі голосних звуків / Я.П. Драган, Л.Б. Чорна, Б.І. Яворський // Вісник Державного університету Львівська політехніка. Серія Прикладна математика. - 1998. - № 337. - С. 166-169.
9. Хвостівська Л.В. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу / М.О. Хвостівський, Л.В.Хвостівська // Науковий вісник Чернівецького університету. Фізика. Електроніка. - 2015. - Т. 4, Вип. 1. - с. 83-89.

## References

- [1] Gazanhes C. (1972) *Etude de modulation d'amplitude consecutive a la diffusion d'une onde acoustique par une surface agitee*. Marseille: L'univ.provence, 168 p.
- [2] Rabbiner L. R. and Shafer R. W. (1981) *Digital processing of speech signals*, Prentice-Hall.
- [3] Dozorsky V. (2012) A sinphase method of statistical processing of vokalized fricative sounds for the problems of diagnostics of vocal apparatus *Visnyk SumDU. Seriya "Tekhnichni nauky"*. Vol. 3, pp. 16-21.
- [4] Baronin S. (2008) Avtokorreljatsionnyi metod vydeniya osnovnogo tona rechi. Pyat'desyat let spustya [Autocorrelation method of highlighting the pitch of speech. Fifty years later], *Rechevye tekhnologii*, No 2, pp. 3-13.
- [5] Schrupf F., Sturm M., Bausch G. and Fuchs M. (2016) Derivation of the respiratory rate from directly and indirectly measured respiratory signals using autocorrelation. *Current Directions in Biomedical Engineering*, Vol. 2, Iss. 1. DOI: 10.1515/cdbme-2016-0054

- [6] Dozorskyi V. and Shadrina H. (2010) Metod vyznachennia periodu korelovanosti vokalizovanykh frykatyvnykh zvukiv, *Pryrodnychi nauky ta informatsiini tekhnolohii*, TNTU, 2010, Vol.1, pp. 42.
- [7] Zabytivskyy V. and Yavorska E. (2010) Method of determining the period of correlation of the electrocardio signal. *Pryrodnychi nauky ta informatsiini tekhnolohii*. Vol. 1, pp. 43.
- [8] Dragan Ya., Chorna L. and Yavorskyi B. (1998) The algorithm of variational determination of the correlation period of a periodically correlated random process as a model of loud sounds. *Visnyk Derzhavnoho universytetu Lvivska politekhnika. Seriya Prykladna matematyka*, Vol. 337, pp. 166-169.
- [9] Khvostivskyy M.O. and Khvostivska L.V. (2015) Syntez struktury informatsiinoi systemy reiestratsii ta obrobky pulsovoho syhnalu [Synthesis of the structure of the information system for recording and processing the pulse signal], *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. Fizyka. Elektronika*. Vol. 4, Iss. 1, pp. 83-89.

## Развитие методов и алгоритмов вычисления периода стохастических биомедицинских сигналов для медицинских компьютерно-диагностических систем

*Хвостивская Л. В., Осухивская Г. М.,  
Хвостивский М. О., Шадрина Г. М., Дедив И. Ю.*

Разработан метод и алгоритм вычисления периода стохастического биомедицинского сигнала, который характеризуется высоким разрешением и быстродействием, подходящий для использования в биомедицинских компьютерно-диагностических системах. Метод и алгоритм реализован на основе процедуры поиска минимума функционала вариации средних значений центрированного биомедицинского сигнала. Проанализированы результаты работы существующих алгоритмов вычисления периода биомедицинских сигналов известными методами, в основу которых положено: усреднение интервалов времени между максимальными значениями реализации биосигналов, усреднение интервалов между максимальными значениями амплитудных спектров биосигналов, усреднение интервалов времени между максимальными значениями автокорреляционной функции сигнала и усреднение интервалов времени между максимальными значениями спектральной плотности мощности сигнала. Результаты вычисления для различных методов отличаются между собой, что приводит в дальнейшем к получению неоднозначных результатов обработки биомедицинского сигнала. Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение для вычисления периода стохастического биомедицинского сигнала, позволяет уменьшить размытость оценок вычисления в составе медицинских компьютерно-диагностических

систем, поскольку, в отличие от известных методов, разработанный метод имеет малый размах среднеквадратичного отклонения при синхронизации ансамбля реализаций биомедицинского сигнала и низкую алгоритмическую сложность, что дает возможность повысить быстродействие вычислений. Программное обеспечение реализовано в среде MATLAB. Осуществлена процедура верификации разработанного алгоритма путем имитационного моделирования. Результаты верификации на 100% подтвердили точность определения периода априорно известного тестового сигнала.

*Ключевые слова:* медицинская компьютерно-диагностическая система; стохастический биомедицинский сигнал; период; алгоритм; MATLAB

## Development of methods and algorithms for a stochastic biomedical signal period calculation in medical computer diagnostic systems

*Hvostivska L. V., Osukhivska H. M.,  
Hvostivskyy M. O., Shadrina H. M., Dediv I. Y.*

An method and algorithm for a stochastic biomedical signal period calculation is developed, which characterized by high resolution and performance, suitable for using in biomedical computer diagnostic systems. The method and algorithm is implemented on the basis of determination a minimum of a centered biomedical signal mean values functional variation procedure. The results of existing algorithms operation for biomedical signals period calculation by known methods based on: averaging of time intervals between a biosignal realization maximum values, averaging of intervals between a biosignal amplitude spectra maximum values, averaging of time intervals between a biosignal autocorrelation function maximum values and averaging of time intervals between maximum values of a power spectral density are analyzed. The calculation results obtained by different methods differ, which in turn leads to ambiguous results of the biomedical signal processing. Algorithmic and software designed to calculate the stochastic biomedical signal period makes it possible to reduce the calculation estimates blur in medical computer diagnostic systems, because, unlike the known methods, the developed one has a small scatter of the standard deviation at the biomedical signal ensemble realizations synchronization and lower algorithmic complexity, which leads to calculations performance increasing. The software is implemented in the Matlab environment. The developed algorithm verification procedure is carried out by means of simulation. The verification results 100% confirmed the accuracy of a priori known test signal period determination.

*Key words:* medical computer diagnostic system; stochastic biomedical signal; period; algorithm; MATLAB