

2. Smith J., Alvarez L., Chen P. A Component-Based Approach to Early Warning Systems: A Theoretical Model// Applied Sciences. – 2025. – Т. 15, № 6. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/6/3218>. – Дата звернення: 14.05.2025.
3. Lu X., Yang F. A Framework for Detecting False Data Injection Attacks in Large-Scale Wireless Sensor Networks// Sensors. – 2024. – Т. 24, № 5. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/5/1643/pdf>. – Дата звернення: 14.05.2025. ([mdpi.com](https://www.mdpi.com))
4. García-Crespo Á., López-Martín C. Smart Wireless Sensor Networks with Virtual Sensors for Forest-Fire Prediction// Electronics. – 2024. – Т. 14, № 2. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/2/223>. – Дата звернення: 14.05.2025.
5. Patel K., Roy S. Automated Cybersecurity Compliance and Threat Response Using AI & Blockchain Smart Contracts// Proceedings of the International Conference on Distributed Computing Systems. – 2024. – P. 77–85. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/384057732>. – Дата звернення: 14.05.2025.

УДК 004.942

Л.Є. Мосій, А.С. Сверстюк, докт. техн. наук, проф.

Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна

Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Україна

**ПІДХІД ДО РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСПЕРТНОГО
АНАЛІЗУ МОРФОЛОГІЧНИХ ОЗНАК КАРДІОСИГНАЛІВ НА ОСНОВІ
ДИСКРЕТНОЇ ФУНКЦІЇ АМПЛІТУДНОЇ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ**

L. Mosiy, A. Sverstiuk, Dr., Prof.

**APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR
EXPERT ANALYSIS OF MORPHOLOGICAL FEATURES OF CARDIAC SIGNALS
BASED ON FUNCTION OF AMPLITUDE VARIABILITY**

Сучасна кардіодіагностика потребує інтегрованих інформаційних технологій, побудованих на основі високоточних математичних моделей та методів обробки електрокардіосигналів (ЕКС), які б дозволяли виявляти та диференціювати патологічні стани серцево-судинної системи (ССС). Існуючі інформаційні технології аналізу ЕКС переважно зосереджуються на часових характеристиках або повній морфології сигналу, проте недостатньо уваги приділяється систематичному аналізу динаміки амплітудних значень характеристичних зубців, які містять критично важливу діагностичну інформацію.

Для обробки ЕКС можна застосовувати різні методи математичного моделювання. Українські дослідники [1] створили методіку комп'ютерного моделювання циклічних сигналів на основі циклічних випадкових процесів із застосуванням статистичних оцінок та дискретних функцій ритму. Також автор [2] запропонував ритмо-адаптивні розклади рядів Фур'є для циклічних числових функцій та імовірнісних характеристик циклічних випадкових процесів, які демонструють кращу ефективність порівняно з традиційними методами Фур'є. Особливу увагу дослідників привертають методики імітаційного моделювання полікомпонентних синхронних кардіосигналів із використанням векторного представлення циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, що має безпосереднє застосування у розв'язанні прикладних задач кардіодіагностики [3]. У роботі [4] представлено модель на основі циклічного дискретного випадкового процесу з інтегрованою функцією часового ритму, що враховує амплітудні характеристики характеристичних зубців ЕКС (P, Q, R, S, T). Запропонована модель дозволяє адекватно відтворити фундаментальну циклічну природу ЕКС із одночасним урахуванням їх стохастичної варіативності та флуктуацій амплітудних параметрів кардіоциклів.

Для моделювання амплітудної варіабельності зубців ЕКС введено множину $I = \{P, Q, R, S, T\}$, що представляє типи характеристичних зубців сигналу. Для кожного типу зубців $k \in$

I та кожного циклу $m \in \mathbf{Z}$ з кроком дискретизації $m = 1$ визначається амплітудне значення $A_k(m)$, яке представляє амплітуду відповідного зубця в межах відповідного кардіоциклу.

Математичну модель амплітудної варіабельності подано у вигляді функції $V_k(m)$, що враховує амплітудні значення характеристичних зубців ЕКС (P, Q, R, S і T):

$$V_k(m) = A_k(m) - A_k(m - 1), \quad k \in \{P, Q, R, S, T\}, \quad m \in \mathbf{Z}, \quad (1)$$

де $A_k(m)$ – амплітуда k -го типу зубця в m -му кардіоциклі (мВ);

$A_k(m - 1)$ – амплітуда k -го типу зубця в попередньому валідному кардіоциклі (мВ);

$V_k(m)$ – значення функції амплітудної варіабельності зубців ЕКС, що відображає зміну амплітуди зубців k -го типу між поточним m та попереднім кардіоциклом ($m-1$).

У випадку, якщо попередній цикл ($m-1$) містить артефакт і виключений з обробки, для розрахунку функції амплітудної варіабельності використовується останній валідний цикл:

$$V_k(m) = \begin{cases} A_k(m - 1) = NaN, & A_k(m) - A_k(p) \\ A_k(m - 1) = numeric, & A_k(m) - A_k(m - 1) \end{cases}, \quad k \in \{P, Q, R, S, T\}, \quad m, p \in \mathbf{Z}, \quad (2)$$

де p – індекс останнього валідного циклу перед m -м кардіоциклом.

Функція амплітудної варіабельності $V_k(m)$ визначена на множині $I \times \mathbf{Z}$, де I – множина типів зубців {P, Q, R, S, T}, а $\mathbf{Z}$ – множина індексів кардіоциклів. Дана функція характеризується наступними властивостями:

1. $V_k(m)$ може набувати як додатних, так і від'ємних значень, що відповідає збільшенню чи зменшенню амплітуди зубців від кардіоциклу до m -го кардіоциклу.

2. Для кожного типу k -го зубця функція $V_k(m)$ утворює послідовність значень $\{A_k(m) - A_k(m - 1)\}, n \in \mathbf{Z}$.

3. У випадку нормального функціонування ССС значення $V_k(m)$ мають меншу варіативність та амплітуду (в ідеалі прямує до 0), тоді як при патологічних станах спостерігаються значні відхилення та нерегулярність.

Для кількісної характеристики $V_k(m)$ та її діагностичної оцінки застосовано метод статистичної обробки, який уможливорює обчислення наступних показників: 1) середнє значення $V_k(m)$ для k -го типу зубців; 2) стандартне відхилення $V_k(m)$; 3) коефіцієнт варіації $V_k(m)$; 4) розмах значень $V_k(m)$; 5) індекс нестабільності амплітуд (ІНА) – частка циклів, у яких $V_k(m)$ перевищує поріг 0,05 мВ.

Розроблена математична модель амплітудної варіабельності ЕКС у вигляді функції $V_k(m)$ дозволяє кількісно оцінювати зміни амплітуд характеристичних зубців ЕКС (P, Q, R, S, T) між послідовними кардіоциклами. Запропонована модель враховує можливість наявності артефактів та забезпечує коректне обчислення значень у випадку виключення окремих кардіоциклів з обробки. Метод обробки амплітудної варіабельності, що включає розрахунок середнього значення, стандартного відхилення, коефіцієнта варіації, розмаху значень та індексу нестабільності амплітуд, створює потужний інструментарій для аналізу міжциклових змін амплітуд ЕКС. Проведений порівняльний аналіз показників амплітудної варіабельності ЕКС здорових пацієнтів та пацієнтів з екстрасистолією виявив суттєві відмінності у кількісних характеристиках.

Література

1. Lupenko, S.A., Lytvynenko, I.V., & Hotovych, V. (2021). Simulation of Cyclic Signals (Generalized Approach). 4th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine, November 19–21, 2021 Valencia, Spain.

2. Lupenko, S. (2023). The rhythm-adaptive Fourier series decompositions of cyclic numerical functions and one-dimensional probabilistic characteristics of cyclic random processes. In Digital Signal Processing (Vol. 140, p. 104104). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2023.104104>

3. Литвиненко, Я. В., Лупенко, С. А., Дем'янчук, Н. Р., & Сверстюк, А. С. (2009). Імітаційне моделювання синхронно зареєстрованих сигналів серця на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів у задачах кардіодіагностики. Електроніка та системи управління–К.: НАУ, (4), 22.

4. L. Mosiy, A. Sverstiuk. Methods of electrocardiogram classification and their mathematical model in the form of a cyclic discrete random process. Computer systems and information technologies, 2025, 1, pp. 88–99. <https://doi.org/10.31891/csit-2025-1-11>

UDC 004.42

Nikita Notych, Ph.D. (Technical Sciences) Assoc. Prof. Y.V. Bezgachnyuk
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine

ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING SECURITY QUALITY INDICATORS OF APPLICATION PROGRAMMING INTERFACES

Application Programming Interfaces (APIs) ensure effective interaction within microservice and distributed systems, where security is a key quality factor [1]. The lack of standardized methodologies complicates the assessment of characteristics such as confidentiality, authenticity, and reliability.

Modern approaches to API security analysis have been studied, including the use of fuzzy sets to model qualitative indicators [2], the adaptation of qualimetric scales based on expert ranking [3], the application of indirect parameters for evaluating complex characteristics [2], [4], consideration of quality standards [5], [6], as well as the implementation of automated security testing methods, such as frameworks for testing RESTful APIs [7].

Improving API security assessment is possible through the integration of fuzzy sets with qualimetric scales to enhance the accuracy of analysis [2], [3], and the adaptation of standards [5], [6] to the specific nature of APIs, ensuring reliable protection against vulnerabilities. This combination allows for consideration of uncertainty and subjectivity in expert evaluations, as well as the adaptation of standardized metrics [5], [6] to the specific features of APIs. Additionally, the implementation of mechanisms for automated collection of indirect parameters (logs, behavioral indicators) will improve the objectivity and efficiency of security indicator analysis [4].

Referetces

1. OWASP API Security Project | OWASP Foundation. OWASP Foundation, the Open Source Foundation for Application Security | OWASP Foundation. URL: <https://owasp.org/www-project-api-security/> (accessed on May 19, 2025).

2. Kuz M.V., Solovko Y.T., Andreiko V.M. Methodology for the formation of a generalized criterion of software quality under conditions of uncertainty // Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute. - 2015. - № 5. - С. 104-107.

3. Kuz M.V., Andreiko V.M. Qualimetric scales of software products // Methods and devices of quality control. - 2016. - № 1(36). - С. 54-62.

4. Cinque M., Della Corte R., Pecchia A. Monitoring microservices using event logs and black box execution tracing. IEEE Transactions on Services Computing. 2019. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/tsc.2019.2940009> (accessed May 19, 2025).

5. ISO/IEC 25023:2016. Systems and software engineering - Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE) - Measuring the quality of system and software products. - ISO, 2016.

6. ISO/IEC 27034-1:2011. Information technology - Security techniques - Application security - Part 1: Overview and concepts. - ISO, 2011.