

УДК 519.218+617.73

Євгенія Яворська, к.т.н., доц., Лілія Хвостівська

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**Математична модель  
пульсового сигналу для визначення гемодинамічних показників серцево-судинної  
системи людини**

У тезі обґрунтовано застосування енергетичної теорії стохастичних сигналів до вибору математичної моделі пульсового сигналу променевої артерії у вигляді періодично корельованого випадкового процесу

Ключові слова: гемодинаміка серцево-судинної системи, пульсовий сигнал, математична модель, періодично корельований випадковий процес

**Yevgeniya Yavorska, Liliya Hvostivska**

In the thesis application of the theory of stochastic energy signals to the choice of a mathematical model of the radial artery pulse signal in a periodically correlated random process

Key words: pulse signal, radial artery, the mathematical model of periodically correlated random process

По даним ВОЗ (2012 р.) у всьому світі смертність від серцево-судинних захворювань займає перше місце (30% від усіх захворювань), за даними World Health Statistics (2012 р.) - 9,7% захворювань судин, 12,2% захворювань серця. Високі показники захворюваності судинної системи людини, ураження людей все більш молодого віку, роблять цю проблему однією з найважливіших в сучасній охороні здоров'я.

Для розв'язання задач визначення параметрів судин і способів оцінки їх стану застосовують сфїгмографічний метод (Валтнерис А.Д., Власова С. П., Савицкий Н.И. та ін.), який базується на аналізі форми сигналу пульсової хвилі (ПХ) (пульсового сигналу (ПС) (рис.1.)), і є доміантним представником доступних фізіологічних підходів [1, 2].

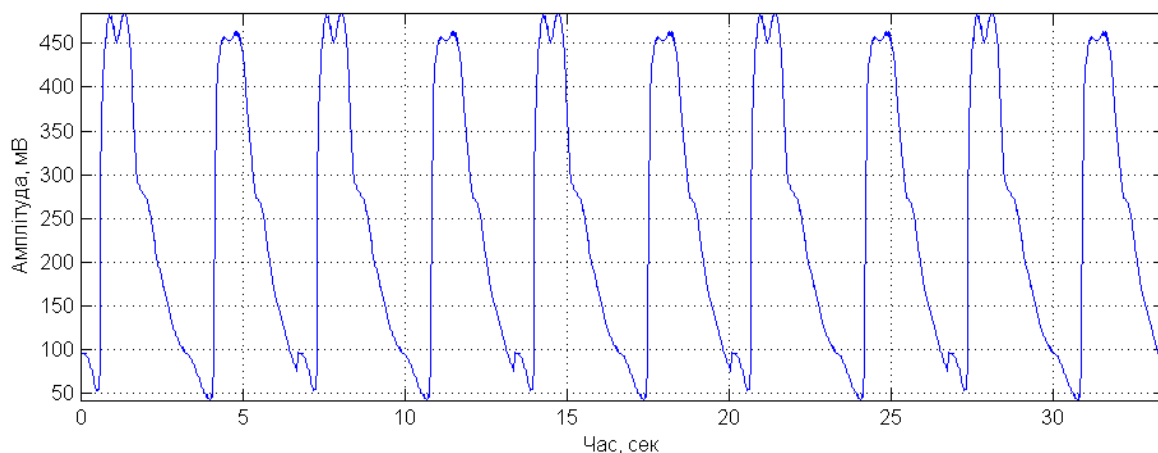


Рис.1. Реалізація пульсового сигналу (стан норми)

На основі параметрів пульсового сигналу [3] можна судити про зміни гемодинамічних характеристик, ритму серця, швидкості кровонаповнення в досліджуваній частині тіла. Оскільки, фізичні процеси утворення форми пульсової хвилі до кінця ще не вивчені, тому породжується широке коло задач, які розв'язуються за допомогою математичного моделювання.

На сьогодні можна виділити два типи математичних моделей пульсових хвиль, які використовуються в комп'ютерних сфінгографах – детерміновані та стохастичні. У працях Б.Благітко, І.Зячука, О.Пирогова В.А. Акулова, В.В. Гнілицького, Н.В. Мужичької та Михайлов Н.Ю [4,5,6,7] запропоновано моделі пульсової хвилі у вигляді детермінованої функції (лінеаризовані рівняння Нав'є-Стокса в циліндричних координатах, затухаючий осцилятор, періодична функція), яка наочно демонструє генезис пульсових хвиль і має прості та відомі алгоритми для її реалізації. Проте така модель не знайшла використання в сучасних комп'ютерних сфінгографах тому, що має обмежені можливість щодо опису реальних сигналів, а саме не враховує у своїй структурі властивість стохастичності (впливає із фізичної природи породження сигналу). Пульсова хвиля є складним за свою природою періодичним та стохастичним процесом. Відома низка праць С.В.Самкова, А.И.Черненко [8], в яких для опису пульсового сигналу запропоновано ряд стохастичних моделей (стаціонарний випадковий процес та адитивна суміш детермінованої і випадкової складових), які дають змогу врахувати у своїй структурі властивість стохастичності та періодичності. Проте ці моделі не врахування у своїй структурі статистичну взаємопов'язаність між різними хвилями однієї і тієї ж серії спостережень, що є важливим при дослідженні змін фазово-часової структури пульсової хвилі з метою виявлення моменту прояву ранніх змін у функціонуванні стану судин людини.

Наведені аргументи вказують на актуальність удосконалення математичної моделі пульсового сигналу променевої артерії для підвищення інформативності комп'ютерних сфінгографів з метою визначення гемодинамічних показників серцево-судинної системи людини.

Оскільки пульсовий сигнал є випадковим процесом (амплітудні спектри (рис.2) є мінливими, що свідчить про наявність в сигналі стохастичної складової) із періодичними характеристиками (кореляційна функція (рис.3) є періодичною) то адекватна модель пульсового сигналу повинна мати властивість стохастичності, гармонізованості і періодичності її статистичних характеристик.

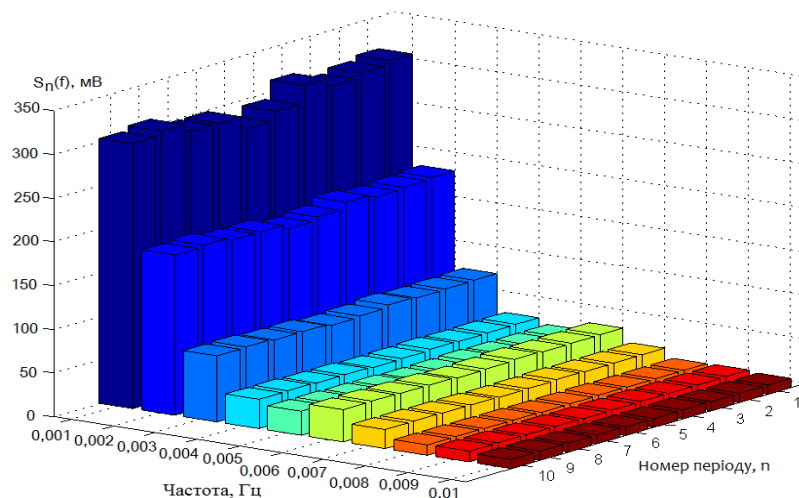


Рис.2. Графіки реалізації амплітудних спектрів пульсового сигналу (норма)

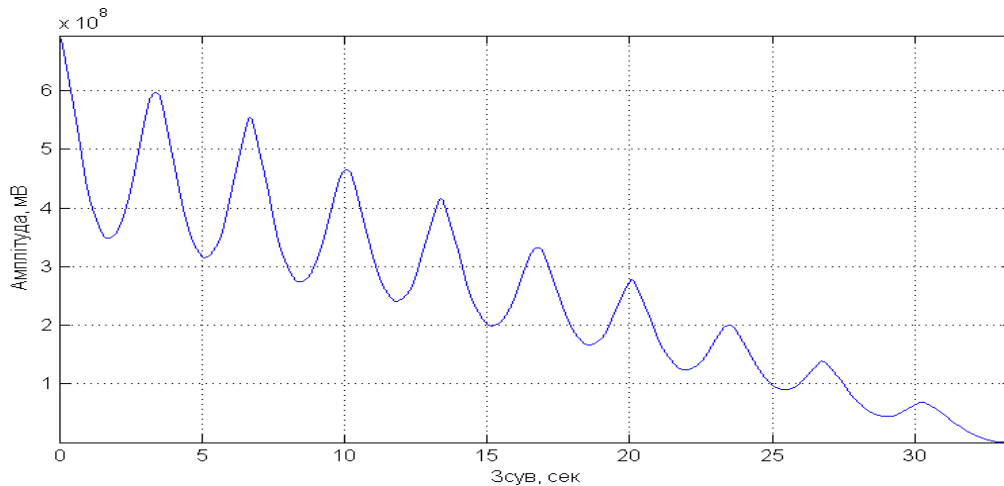


Рис.3. Реалізація автокореляційної функції пульсового сигналу (стан норми)

Випадкова стаціонарна модель відображає складність пульсовий сигнал у спектральному розподілі потужності, проте не відображає його фазово-часової структури, яка є важливим показником при виявленні фазово-часових змін у сигналі. У термінах енергетичної теорії цим вимогам задовольняє модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу, яка має засоби врахування як пов'язаності гармонічних складових, так і зміни ймовірнісних характеристик.

Пульсовий сигнал як ПКВП належить до класу  $\pi^T$  тоді, коли він має зображення:

$$\xi(t) = \sum_{k \in Z} \xi_k(t) e^{\frac{ik2\pi}{T}t}, \quad (1)$$

де  $\xi_k(t)$  - випадкова складова ПС у вигляді стаціонарних та стаціонарно пов'язаних процесів (стаціонарні компоненти),  $e^{\frac{ik2\pi}{T}t}$  - періодична складова ПС з періодом  $T$ .

Подання пульсового сигналу у вигляді ПКВП (1) обґрунтовує застосовність до нього відомих методів статистичного опрацювання (синфазного, компонентного) для обчислення статистичних оцінок його ймовірнісних характеристик, за значеннями яких можна визначити показники гемодинаміки серцево-судинної системи людини.

### Список використаних джерел

1. ГОСТ 19687-94. Библиографическое описание документа: Приборы для измерения биоэлектрических потенциалов сердца. Общие технические требования и методы испытаний. Ввод. 01.01.90 — М.: Изд-во стандартов, 1994. -19 с.
2. Рибін, О. І. Діагностичні можливості процедури нормалізації ортогональних функцій при аналізі пульсограм / О.І.Рибін, О.Б.Шарпан// Вісник ЖДТУ. – Технічні науки. – 2004. – № 4 (31). – Том 1. – С. 144–149.
3. Айвар, Ю. П. Физические основы оценки информативности сфигмографических методов / Ю.П. Айвар// Кровообращение мозга и свойства крупных артерий в норме и патологии. – Рига, 1976. – С. 46-50.

4. Акулов, В. А. Модель пульсовой волны и её реализация в среде Excel /В.А.Акулов// Труды третьей Всероссийской научной конференции. – Ч.4: Математические модели в информационных технологиях. – Самара: СамГТУ, 2006. – С. 13–16.
5. Гніліцький, В.В. Уточнення гармонічної моделі пульсової хвилі для експрес-діагностики за пульсограмами / В.В. Гніліцький, Н.В. Мужичька // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. — 2010. — № 4 (55). — С. 28–38.
6. Математична модель поширення пульсової хвилі у великих кровоносних судинах / Б. Благітко, І. Заячук, О. Пирогов // Фіз.-мат. моделювання та інформ. технології. — 2006. — Вип. 4. — С. 7-11.
7. Михайлов, Н.Ю. Математическая модель пульсовой волны /Н.Ю.Михайлов, Г.Н.Толмачев// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение. – 2003, №6. – С.3-9.
8. Самков С.В., Черненко А.И. Сверхширокополосный радар для измерения параметров сердечно-сосудистой системы человека при физических нагрузках / С.В.Самков, А.И.Черненко// II Всерос. научная конф.-семинар.– 2006 – С.475-479.