

Ян Лунінь  
С.В. Павлов  
Я.І. Ярославський  
О.С. Волосович  
Шолпан Жумагулова

## ЗАСТОСУВАННЯ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є ДЛЯ АНАЛІЗУ ПУЛЬСОГРАМ

Вінницький національний технічний університет  
НУ «Одеська Політехніка»  
Казахський національний університет ім. Аль –Фарабі, Алмати, Казахстан

**Анотація.** У цьому дослідженні запропонована модифікована версія алгоритму ШПФ для моніторингу спектру біомедичного сигналу. Моніторинг спектру можна використовуватися в багатьох сферах застосування, зокрема біомедичних розробках. Отримано зразки-маски на основі застосування методу швидкого перетворення Фур'є для виявлення рівня патології периферичної мікроциркуляції, що підвищує достовірність при дослідженні.

**Ключові слова:** спектр сигналу, швидке перетворення Фур'є, пульсограма

**Вступ.** Розвиток інтелектуальних адаптивних технологій моніторингу спектру для обробки біомедичних сигналів, особливо для застосування в кардіології є край важливим. Частотний розподіл потужності і фаза являють собою реакцію системи на зміну смуги пропускання, коефіцієнта посилення, фазового зсуву, гармонік і т.д. Останнім часом перевага цих характеристик полягає в виявленні та зменшенні завад, викликаних як артефактами, так і зовнішніми впливами освітлення.

Існує проблема щодо визначення чіткого спектру потужності для застосування в біомедичних приладах та системах. Більшість біомедичних приладів використовують складні алгоритми і схеми для представлення найбільш чіткого огляду спектра для заданого застосування [5]. В основному це призводить до підвищення собівартості та потребує складних алгоритмів, які можуть бути непотрібними для мобільних недорогих пристроїв. У той час як надійне представлення спектра необхідне для досліджень і розробок в напрямку біомедичних досліджень, де деякі програми не потребують найточнішого значення, якщо відношення амплітуд і форма спектра правильно відображаються більш простим методом [5].

Метод. Для отримання оцінювання спектральної щільності потужності (СЩП) існують параметричні та непараметричні методи [1]. Непараметричні методи, засновані на дискретному перетворенні Фур'є (ДПФ) [2]. Одними з непараметричних методів є метод періодограм [3], який є квадратом абсолютного значення ДФТ і метод Велча [1,4], який використовує середнє значення декількох сканувань ДФТ. Для параметричних методів передбачається, що дані відповідають певній моделі [5] і вони вимагають певної кількості попередньої інформації для правильного розрахунку біомедичного сигналу. Прикладами параметричних методів є авторегресійна модель, модель рухомого середнього, авторегресійна модель з ковзним середнім значенням та ін.

Щоб отримати ці конкретні дані, найчастіше використовується метод швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). ШПФ перетворює вікно дискретних вибірок в його частотну область представлення [2]. Метод Велча заснований на методі Бартлетта, де до 50% сегментів можуть перекриватися [3]. Кінцеві дані спричиняють шум і погане представлення в частотній області. Метод Велча покращує стандартну оцінку спектру періодограми, усереднюючи за кількома пакетами ШПФ. Це передбачає більше часових вибірок домену та перевершує обмежене обмеження доступних даних [5-10].

**Методика.** Сигнали дискретного часу є результатом дискретизації аналогових сигналів безперервного часу, які перетворюються в цифрові значення для аналізу. Інтервал між послідовними вимірюваннями визначається періодом відбору проб. Таким чином, сигнали дискретного часу не визначаються між інтервалами дискретизації, а це означає, що максимально можлива спостережувана частота не може перевищувати межу критерію Найквіста, яка дорівнює половині частоти дискретизації.

ШПФ є потужним інструментом для аналізу цих типів сигналів, оскільки він може виявити періодичність вхідного сигналу, а також відносну потужність для кожної частотної складової. ДПФ визначається математично як [1, 2]:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \times \exp\left(\frac{-j2\pi nk}{N}\right) \quad 0 \leq k \leq N-1$$

де  $N$  - кількість вхідних вибірок,  $k$  - цілочисельний індекс,  $2\pi/N$  є основною частотною роздільною здатністю,  $x = \{x[0], x[1], \dots, x[n]\}$  — вікно вхідних зразків, а  $X = \{X[0], X[1], \dots, X[n]\}$  — вектор зразків ДПФ.

**Результати досліджень.** Вхідними даними програми будуть координати, значення яких визначаємо за графіками пульсограм норма-патологія. Визначення рівня патології проводитиметься шляхом порівняння координат кожної з ФПГ із нормою. У відповідність описаного методу формуються еталони-маски, які визначають відхилення від норми (результати представлені на рис. 1-3)

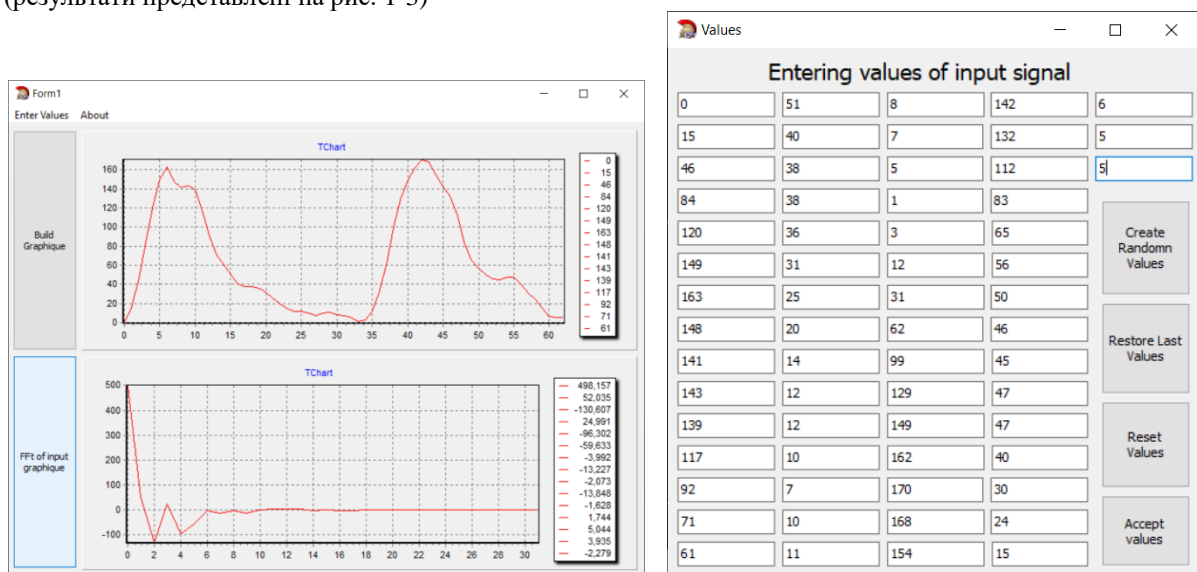


Рис. 1 – Пульсограма (норма)

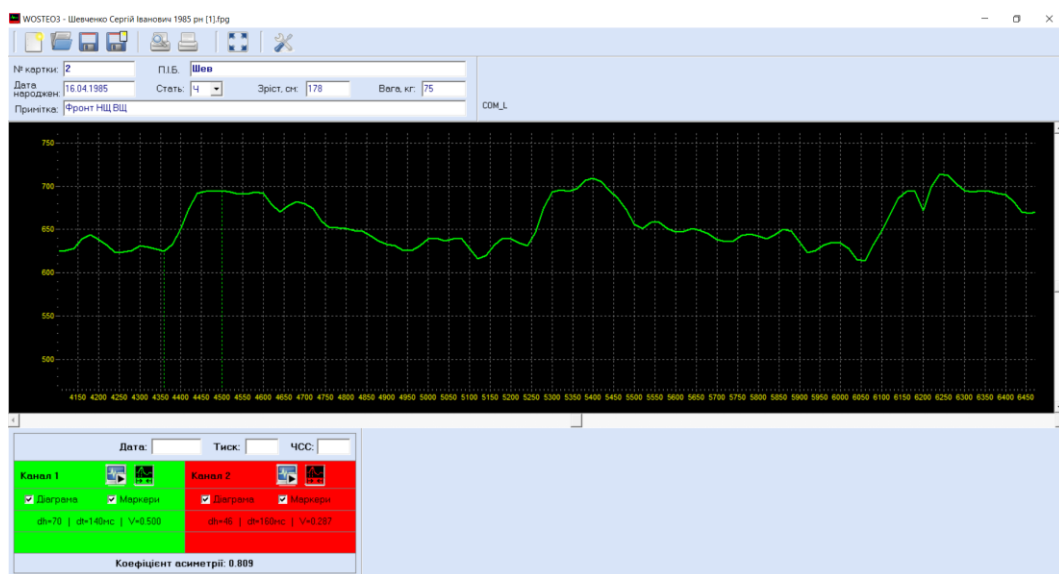


Рис. 2 – Пульсограма (патологія)

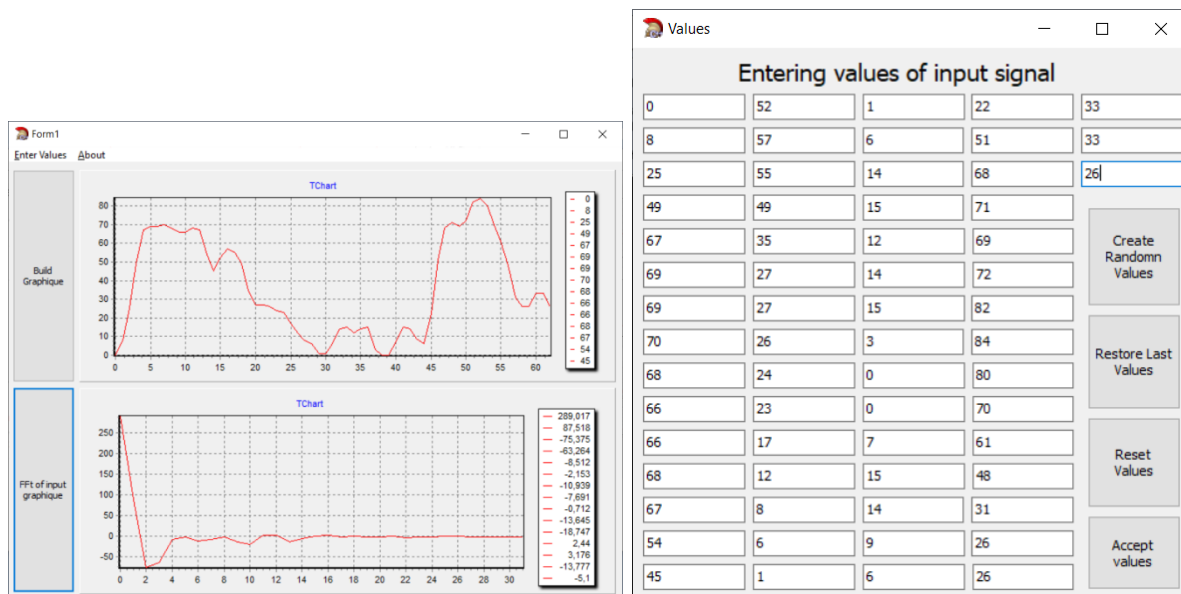


Рис. 3 – Аналіз пульсограми (патологія)

**Висновок.** У цьому дослідженні запропонована модифікована версія алгоритму ШПФ для моніторингу спектру біомедичного сигналу. Моніторинг спектру можна використовувати в багатьох сферах застосування, зокрема біомедичних розробках. Отримано зразки-маски на основі застосування методу швидкого перетворення Фур'є для виявлення рівня патологій периферичної мікроциркуляції, що підвищує достовірність при дослідженні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Same, M.H.; Gandubert, G.; Gleton, G.; Ivanov, P.; Landry, R., Jr. Simplified Welch Algorithm for Spectrum Monitoring. *Appl. Sci.* 2021, 11, 86. <https://dx.doi.org/10.3390/app11010086>
2. Dastagir, N.; Obed, D.; Bucher, F.; Murad, S.; Dastagir, K.; Vogt, P.M. Blood Vessel Injuries of the Fingers: A Clinical Comparison of One- and Two-Arterial Blood Supply. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 5889. <https://doi.org/10.3390/jcm12185889>.
3. Bickel, K.D.; Dosanjh, A. Fingertip reconstruction. *J. Hand Surg.* 2008, 33, 1417–1419.
4. Gordon, A.M.; Malik, A.T.; Goyal, K.S. Trends of hand injuries presenting to US emergency departments: A 10-year national analysis. *Am. J. Emerg. Med.* 2021, 50, 466–471.
5. Sabongi, R.G.; Erazo, J.P.; Moraes, V.Y.d.; Fernandes, C.H.; Santos, J.B.G.D.; Faloppa, F.; Belloti, J.C. Circular saw misuse is related to upper limb injuries: A cross-sectional study. *Clinics* 2019, 74, e1076.
6. Dastagir, N.; Obed, D.; Dastagir, K.; Vogt, P.M. Personalized Treatment Decisions for Traumatic Proximal Finger Amputations: A Retrospective Cohort Study. *J. Pers. Med.* 2023, 13, 215.
7. Wójcik W., Smolarz A. *Information Technology in Medical Diagnostics. London, Taylor & Francis Group CRC Press Reference.* 2017. P. 210.
8. Pavlov S.V., Kozhemiako V.P., Petruk V.G., Kolesnik P.F., *Photoplethysmographic technologies of the cardiovascular control, Vinnitsa: Universum-Vinnitsa,* 2007, P. 254,
9. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. *Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book,* 2019, P. 336.
10. Pavlov S. V., Kozhukhar A. T. Electro-optical system for the automated selection of dental implants according to their colour matching. *Przegląd elektrotechniczny.* 2017. R. 93. NR 3. P. 121-124. ISSN 0033-2097.

**Ян Лунінь** – аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [longyinyang966@gmail.com](mailto:longyinyang966@gmail.com).

**Павлов Сергій Володимирович** – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

**Ярославський Ярослав Іванович** – старший викладач кафедри біомедичної інженерії, Національний університет «Одеська Політехніка, директор, ДП «Вінницький науково-дослідний та проектний інститут землеустрою», Вінниця, Україна, *e-mail: yaroslavskyidzk@gmail.com*

**Волосович Олександр Сергійович** —аспірант, кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021; *e-mail: sashka.v0@gmail.com*

**Жумагулова Шолпан** – аспірант Казахського національного університету ім. Аль –Фарабі, Алмати, Казахстан, e-mail:sh.zhumagulovakz@gmail.com

**Yang Longyin, S.V. Pavlov, Y.I. Yaroslavskyy, O.S. Volosovych, Sholpan Zhumagulova**

## **APPLICATION OF FAST FOURIER TRANSFORM FOR PULSE ANALYSIS**

Vinnitsia National Technical University  
Odesa Polytechnic National University  
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

**Abstract.** This study proposes a modified version of the FFT algorithm for monitoring the spectrum of a biomedical signal. Spectrum monitoring can be used in many areas of application, including biomedical developments. Mask samples were obtained based on the application of the fast Fourier transform method to detect the level of pathologies of peripheral microcirculation, which increases the reliability of the study.

**Keywords:** signal spectrum, fast Fourier transform, pulsogram