

**Н.В. Мужичька, ст. викл.  
Т.М. Нікітчук, аспір.**  
*Житомирський державний технологічний університет*  
**Г.С. Тимчик, д.т.н., проф.**  
*Національний технічний університет України «КПІ»*

### **ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТИКА ЗА ПУЛЬСОГРАМАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ФАЗОВОЇ ПЛОЩИНИ**

*Проведено аналіз методик експрес-діагностики, що базуються на класифікації основних типів пульсограм. Така класифікація виконується на підставі розрахунку базових гемодинамічних параметрів. Вибрана методика, у якій основу діагностичної процедури складають шість типів пульсу. У роботі запропоновано метод аналізу пульсограм у фазовій площині, що дозволяє легко співставити фазовий портрет з одним із еталонів для встановлення попереднього діагнозу.*

**Вступ.** Пульсові сигнали сьогодні широко використовуються в медицині для діагностики ряду захворювань. Ефективність їх використання підтверджена досвідом східної медицини і сучасними досягненнями в діагностиці за пульсограмами [1]. Інформація, отримана при аналізі пульсограм, має значення для оцінки стану серцево-судинної системи, а також інших органів і систем. При цьому алгоритм аналізу параметрів пульсових хвиль, в першу чергу, залежить від методики, за якою реалізується діагностична процедура. Сьогодні широко поширений аналіз пульсових сигналів у часовій області, аналіз за спектром пульсової хвилі, аналіз із використанням нейронних мереж, що здатні розпізнати особливості пульсограм і класифікувати її відповідно до категорій, закладених в основу діагностичної процедури [2]. У загальному випадку, не вдаючись до подробиць цієї або іншої методики, можна сказати, що діагностика за пульсограмами полягає в тому, щоб співвіднести їх з певним класом пульсових сигналів (з патологіями або без таких). Для розв'язання цієї задачі можливі два принципово різних підходи: класифікація внаслідок розрахунку набору параметрів або візуальне зіставлення отриманого сигналу з деякими характеристичними еталонами. Другий підхід частенько складає основу експрес-діагностики за пульсограмами.

**Постановка завдання.** Не залежно від того, хто зіставляє сигнал з еталоном, – лікар або програмне забезпечення, коректність діагностичного висновку залежить від декількох чинників. В першу чергу, це набір еталонів і правильність їх опису. Так східній діагностиці відомо декілька тисяч видів пульсограм, які діагност здатний був розрізнити пальпацією в певних точках зйому пульсового сигналу. Сьогодні використовують більш вузьку класифікацію, яка, проте, задовольняє вимогам експрес-діагностики за пульсовими хвилями. Більш розгорнуту інформацію про сигнал отримують вже після співставлення пульсового сигналу з тим або іншим класом пульсограм. При цьому класифікація сигналу можлива лише після того, як розрахований необхідний набір параметрів.

Складність діагностики за набором основних показників гемодинаміки полягає в тому, що при зміні хоча б одного параметра пульсової хвилі, всі інші також зазнають змін. Це пояснюється необхідністю виконання основних гемодинамічних законів і взаємозв'язком основних параметрів кровообігу [3]. Кількість обчислювальних параметрів також залежить від математичної моделі, закладеної в основу діагностичного методу. Даний факт можна назвати другим важливим чинником, що впливає на правильність постановки попереднього діагнозу.

У роботі [4] виділено шість основних типів пульсу: швидкий, повільний, високий, низький, рівний і нерівний. Всі вони представлені на рисунку 1. Ефективність такої класифікації для діагностики з використанням амплітудно-часових параметрів також доведена [4]. Візьмемо описану класифікацію за основу при експрес-аналізі пульсових сигналів. Для реалізації діагностичного заключення пропонується використовувати метод фазової площини. Основною перевагою цього методу є його придатність до аналізу як лінійних, так і нелінійних систем [5, 6].

Під фазовою площиною мається на увазі площина, кожна точка якої однозначно визначає стан (фазу) системи. Зміни стану системи в часі відповідає переміщення точки зображення на фазовій площині, а фазовий портрет повністю визначає режими, що можуть існувати в системі за різних умов.

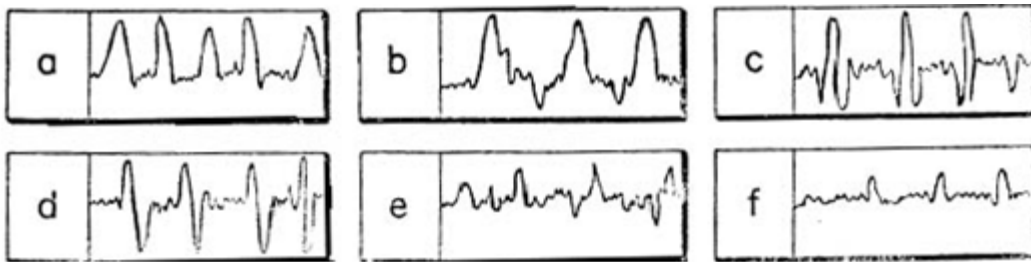


Рис. 1. Основні типи пульсу: а – швидкий; б – повільний;  
с – високий; д – низький; е – рівний; ф – нерівний

Для отримання фазового портрета необхідно побудувати фазові траєкторії системи. Одна з методик побудови фазових траєкторій описана в [7]. У цьому випадку по одній осі у фазовій площині буде відкладений сам сигнал (крива тиску  $P$  у плечовій артерії), а по другій – його похідна по часу  $dP/dt$ .

Таким чином, зміна форми представлення сигналу повинна полегшити задачу класифікації пульсових сигналів та спростити процедуру опису еталонів пульсограм.

**Викладення основного матеріалу.** *Проведення експерименту та аналіз результатів.* Інформація про особливості й властивості пульсової хвилі закладена в математичних моделях цього сигналу. Розробка методики для математичної моделі пульсової хвилі дає можливість реально оцінити її переваги і недоліки, оскільки в разі реального сигналу апріорна інформація не відома. У роботі [7] була отримана гармонічна трифазна модель пульсового сигналу, що відповідає основним вимогам до моделей біологічних сигналів і показала ефективність при проведенні експрес-діагностики. Згідно з даною моделлю, пульсовий сигнал плечової артерії у нормі описується рівнянням (1):

$$\rho_{\text{общ}} = \rho_a + \rho_c + \rho_d + \rho_{\text{пр}}, \quad (1)$$

де  $\rho_a$  – артеріальний тиск (зовнішній тиск навколо судини);  $\rho_c$  – систолічна компонента (обумовлена викидом крові в аорту під час систоли);  $\rho_d$  – дикротична компонента (обумовлена активністю венозного відділу під час діастоли);  $\rho_{\text{пр}}$  – пресистолічна компонента (обумовлена розтягом судин внаслідок скорочення правого передсердя).

Кожна із вказаних компонент у рівнянні (1) має певні числові значення, що можна виразити через основні параметри кровообігу:

$$\rho_{\text{общ}} = \rho_a + \rho_0 \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) + 1,5 \rho_0 \left| \sin \frac{\omega}{2} \left( t - \frac{x}{v} + \tau' \right) \right| + 1,5 \rho_0 \left| \sin \frac{\omega}{2} \left( t - \frac{x}{v} - \tau'' \right) \right|, \quad (2)$$

де  $\rho_0$  – амплітуда пульсової хвилі у плечовій артерії;  $\omega$  – кругова частота коливань;  $t$  – час;  $v$  – швидкість пульсової хвилі;  $x$  – відстань від деякої точки судинного русла до серця;  $\tau'$  – різниця в часі між появою систолічної і дикротичної компоненти;  $\tau''$  – різниця в часі між появою систолічної і пресистолічної компонент.

Дана модель досить близько збіглася з реальним сигналом, вона також адекватно відображає основні параметри пульсової хвилі, що використовуються в діагностиці [7]. Змодельємо з її допомогою шість основних видів пульсу, описаних вище. Для розв'язання цієї задачі мінятимемо основні параметри в рівнянні (2), дотримуючись при цьому виконання основних законів гемодинаміки, таких, наприклад, як закон Гагена-Пуазейля. Результати моделювання представлено на рисунку 2.

Аналіз рисунка 2 показує широкі можливості запропонованої моделі для відображення різних станів серцево-судинної системи людини. Проте класифікація окремо взятих пульсограм вимагає розрахунку великої кількості параметрів. У роботі [4] для коректної оцінки пульсограми рекомендується вимірювати близько 20 різних параметрів. Зіставлення їх з деякими номіналами є досить трудомістким процесом.

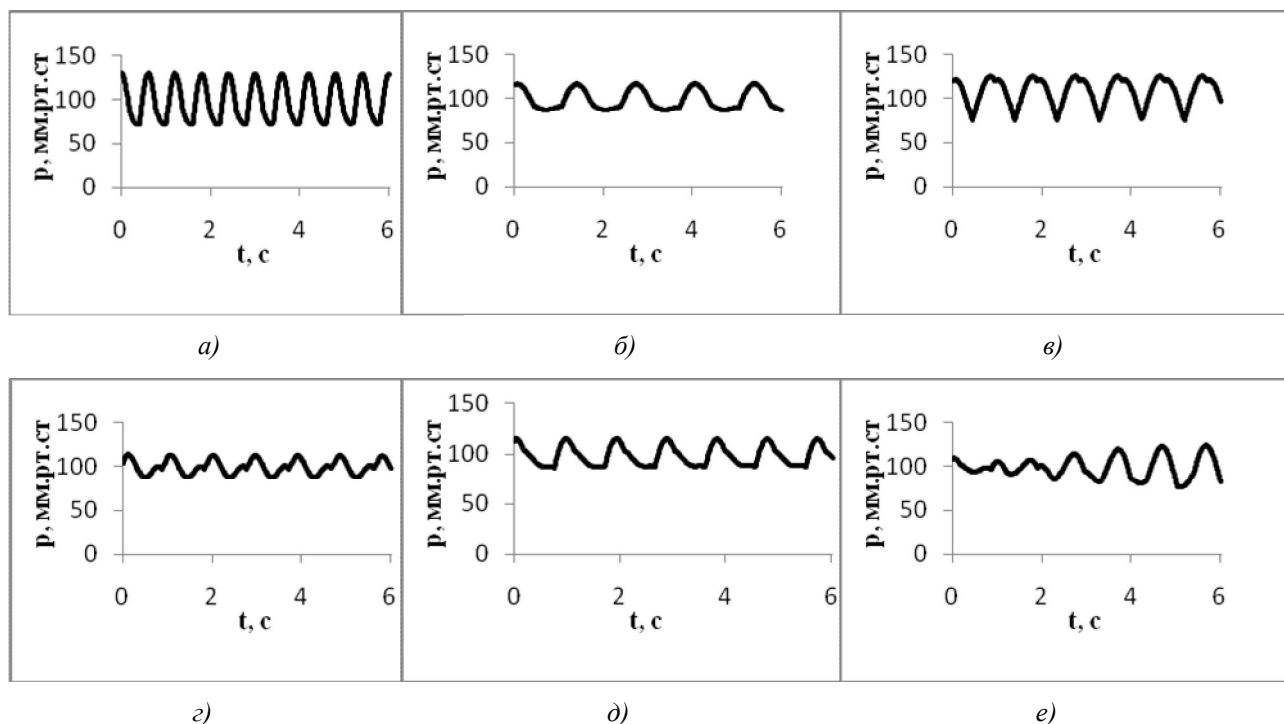


Рис. 2. Моделювання основних типів пульсу: а – швидкий; б – повільний, в – високий; г – низький; д – рівний; е – нерівний

Побудуємо фазові портрети кожного типу пульсограм (рис. 3) з використанням принципів, описаних вище, і оцінимо можливості діагностики за цими зображеннями.

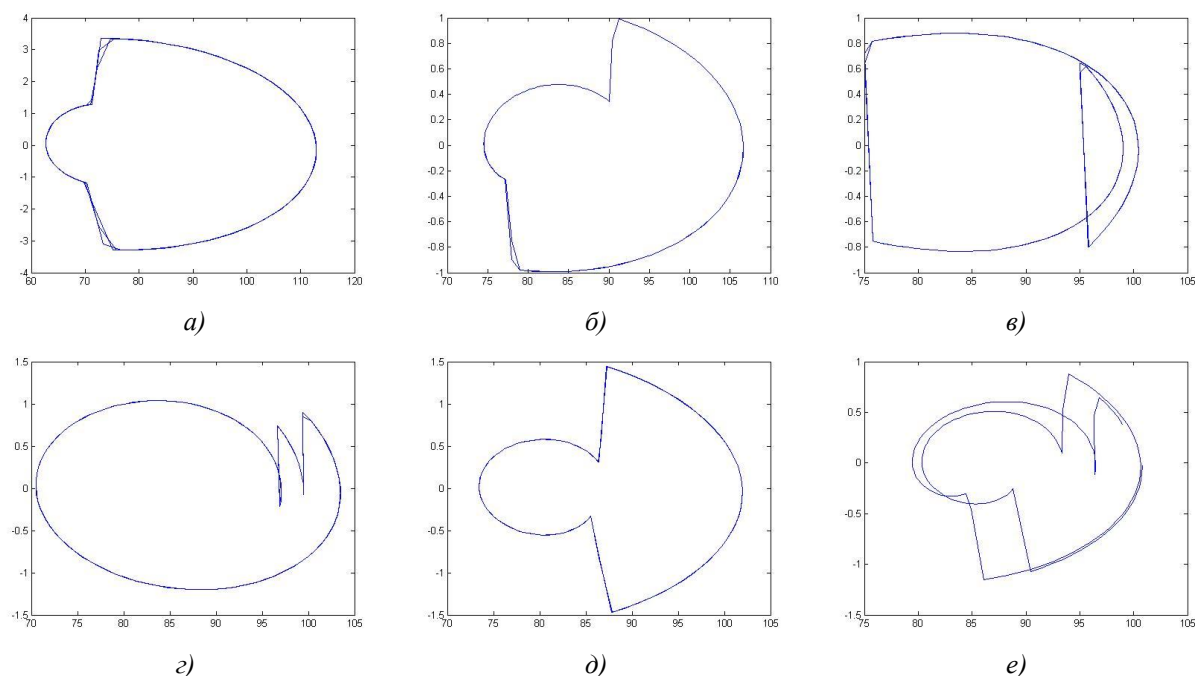


Рис. 3. Фазові портрети основних типів пульсу: а – швидкий; б – повільний, в – високий; г – низький; д – рівний; е – нерівний

Аналіз рисунка 3 показує значну різницю між фазовими портретами пульсограм різних типів. Цей факт можна покласти в основу при створенні діагностичних класів пульсограм, використовуючи опис еталона у фазовій площині. Процедуру експрес-діагностики при цьому можна реалізувати шляхом

наочного зіставлення, а також з використанням спеціальних пакетів прикладних програм, у тому числі, нейронних мереж. Для кількісної оцінки фазових портретів можна використовувати принципи, закладені у [6]. При цьому висновки про типи патології можна робити шляхом розрахунку площі фазового портрета, оцінки кількості петель при побудові фазового атрактора, орієнтації фазової петлі в просторі та ін.

**Висновки.** Процедура експрес-діагностики передбачає наявність алгоритмів, що дозволяють провести первинну оцінку пульсограми шляхом зіставлення її з деяким еталоном. У даному випадку представлення еталона і досліджуваного сигналу мають бути такими, щоб зіставлення можна було провести візуально без проведення додаткових обчислень. У разі використання спеціальних програмних методик, таких, наприклад, як нейронні мережі, опис еталона також бажано мінімізувати декількома параметрами. У даній роботі було успішно реалізовано моделювання основних типів пульсограм за допомогою гармонічної трифазної моделі, спеціально розробленої для процедури експрес-діагностики. Представлення отриманих типів пульсограм у фазовому просторі довело ефективність цього методу. Таким чином, при описі еталона у фазовому просторі процедуру експрес-діагностики можна легко реалізувати шляхом візуального зіставлення сигналу з деяким еталоном. При використанні комплексу нейронних мереж еталон досить описати формою і орієнтацією в просторі.

Таким чином, запропонована в даній роботі методика може бути використана як самостійна процедура для встановлення попереднього діагнозу, а також може служити доповненням до вже популярних методів діагностики за пульсограмами.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Пульсовая диагностика тибетской медицины : сб. статей / отв. ред. Ч.Ц. Цыдыпов. – Новосибирск : Наука, 1988. – 133 с.
2. Динамічна пульсова експрес-діагностика / І.О. Запорожко, К.-М. Делавар, В.І. Зубчик та ін. // Електроніка і зв'язь. — 2009. — № 4–5. — С. 252–256.
3. Ремизов А.Н. Учебник по медицинской и биологической физике / А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко. — 6-ое изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2005. — 560 с.
4. Шарпан О.Б. Дослідження залежності амплітудного спектра пульсового сигналу від стану системи гемодинаміки / О.Б. Шарпан // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2004. – № 1. – С. 110–117.
5. Федоров В.А. Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека / В.А. Федоров ; под ред. С.М. Смольского. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 128 с.
6. Теоретические основы электротехники : учебник для вузов. В 3-х ч. / Г.И. Атабеков, С.Д. Купалян, А.Б. Тимофеев, С.С. Хухриков ; под ред. Г.И. Атабекова. – 4-ое изд., перераб. – М. : Энергия, 1989. – 432 с.
7. Манойлов В.Ф. Возможность диагностики сердечно-сосудистой системы с помощью представления пульсовой волны в фазовой плоскости / В.Ф. Манойлов, Т.Н. Никитчук : материалы XX Междунар. Крымской конференции КрыМиКо'2010. — Севастополь : Крымиус, 2011. — С. 1169–1170.
8. Гніліцький В.В. Уточнення гармонічної моделі пульсової хвилі для експрес-діагностики за пульсограмами / В.В. Гніліцький, Н.В. Мужижька // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. — 2010. — № 4 (55). — С. 28–38.

МУЖИЦЬКА Наталія Віталіївна – старший викладач кафедри Автоматики і управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- цифрова обробка сигналів;
- методи біотехнічних і медичних досліджень.

Тел.: (0412)37–84–82.

E-mail: muzhitskaya\_zh@rambler.ru

НІКІТЧУК Тетяна Миколаївна – аспірант кафедри Радіотехніки і телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- біофізика серцево-судинної системи;
- моделювання і методи обробки пульсових хвиль.

Тел.: (0412)22–14–10.

E-mail: tnkitchuk@mail.ru

ТИМЧИК Григорій Семенович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- технологія оптичного виробництва;
- інформаційно-вимірвальні системи і технології;
- біофізика і біомеханіка.

Тел.: (044)454–94–76.

E-mail: [deanpb@kpi.ua](mailto:deanpb@kpi.ua)

Подано 11.10.2011

