

**МЕТОД ФАЗОВОЇ ПЛОЩИНИ ЯК СПОСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ
СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ
ПУЛЬСОВОЇ ХВИЛІ**

Нікітчук Т.М., аспірант

*Житомирський державний технологічний університет
м. Житомир, Україна*

Одним з самих дивовижних методів діагностики, що прийшли до нас з глибокої давнини, є пульсова діагностика. Характер пульсу відображає стан окремих органів і організму в цілому, а також фізичну і психічну конституцію людини. Порушення рівноваги у роботі організму, що здатні призвести до захворювання, проявляються у зміні пульсу на ранніх стадіях. Ці порушення можна скорегувати і тим самим запобігти хворобі.

До недавнього часу лікарю-практику було важко користуватись методом пульсодіагностики, оскільки необхідне тривале тренування для розвитку чутливості пальців і набуття необхідних навиків. Проте, розвиток комп'ютерної техніки та використання математичних наук дозволив створити програми, що фіксують пульсову хвилю і надають лікарю візуальну і цифрову інформацію про її характер у будь-якій точці реєстрації. Враховуючи актуальність використання пульсової діагностики – як одного з найдавніших діагностичних прийомів, ставиться мета зробити його доступним для лікарів, викладачів медичних установ і всіх, хто цікавиться традиційними методами медицини Сходу з метою її використання у своїй практичній діяльності. В основі даної методики лежить принцип побудови фазового портрета пульсової хвилі з використанням методу ізоклін [1 – 5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій,
у яких започатковано вирішення даної проблеми**

У роботах [6, 7] проведено аналіз спектральних методів дослідження пульсової хвилі, які ефективно реалізуються в цифровій формі, та їх порівняльна характеристика. Проте, ці методи використовують амплітудний метод аналізу, що зумовлює відносно низьку точність обробки та дослідження пульсограм.

В роботі [8] запропоновано метод фазової площини, що реалізується в приладі ФАЗАГРАФ, але ним проводиться визначення функціонального стану людини за діагностикою ритму серця в фазових площинах по ЕКГ, а саме – Т-зубцю електрокардіосигналу.

Встановлено також, що і в науковій літературі, і в наукових працях недостатньо вивчені критерії оцінювання ефективності діагностичних показників та окремих ознак з точки зору зменшення ризику помилкової діа-

гностики.

Формулювання цілей статті

Враховуючи огляд наукових та літературних праць, розробка методу фазової площини для дослідження пульсових хвиль з метою оцінки функціонального стану серцево-судинної системи є актуальною.

Виклад основного матеріалу дослідження

Як відомо з теорії коливань, динаміку системи відображають або в площині, або в просторі станів, які ще називають фазовими [3]. Наприклад, можна досліджувати фазовий портрет якого-небудь фізіологічного параметра. Аналіз фазового портрета (аттрактора) дозволяє визначити тип або характерні особливості динаміки системи, пов'язані з фізіологічними особливостями пацієнта. Методи теорії нелінійної динаміки дають можливість отримати і кількісні параметри, що описують досліджувану систему.

Під фазовою площиною розуміють площину, кожна точка якої однозначно визначає стан (фазу) системи. Так як площина має два виміри, то впливає, що метод фазової площини застосовується до аналізу руху систем, що описуються диференціальними рівняннями другого порядку. Для електричної системи повинні бути задані дві аналогічні змінні, наприклад, заряд ємності (чи напруга) та струм. У випадку механічної системи стан повністю визначається завданням координати (переміщення) і швидкості руху. Основною перевагою методу фазової площини є його придатність для аналізу як лінійних, так і нелінійних систем. Деякі важливі властивості нелінійних систем, які неможливо або важко досліджувати аналітично, піддаються наочному тлумаченню і якісному дослідженню за допомогою графоаналітичної побудови у фазовій площині.

Метод фазової площини – це графоаналітичний метод дослідження динамічних систем, що описуються рівняннями виду

$$\frac{dx}{dt} = P(x, y), \quad \frac{dy}{dt} = Q(x, y), \quad (1)$$

де x, y – змінні стану системи; $P(x, y), Q(x, y)$ – функції, що задовольняють умовам теорем існування і однозначності рішень, t – час, незалежна змінна.

Поводження такої системи можна представити геометрично на площині в декартових координатах. При такому представленні кожному стану динамічної системи однозначно відповідає точка на площині з координатами x, y , навпаки, кожній точці площини відповідає один, і тільки один стан досліджуваної динамічної системи. Площину називають фазовою площиною [1]. Зміна стану системи відображається на фазовій площині рухом точки, яку називають фазовою, а траєкторію, по якій рухається ця точка – фазовою траєкторією; швидкість і напрямлення її руху визначаються вектором фазової швидкості. Суттєво, що через кожен стан фазової

площини проходить тільки одна фазова траєкторія; їх сукупність називається фазовим портретом і відображає сукупність всіх можливих поєднань системи та типи можливих "рухів" у ній [3].

Обробка біомедичних сигналів. Найбільш поширеним є спосіб зображення, при якому використовують дві фазові змінні: основну (наприклад, x) і швидкість її зміни y :

$$\frac{dx}{dt} = V_X = P(x, y), \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt} = V_Y = Q(x, y) \quad (3)$$

Швидкості V_X і V_Y є функціями x і y .

Спільне розв'язання рівнянь (2) і (3) дозволяє одержати рівняння фазових траєкторій пульсового сигналу. Для отримання фазового портрету необхідно побудувати фазові траєкторії системи, тобто виключити із рівнянь (2) і (3) час. Поділивши (3) на (2), отримаємо рівняння фазових траєкторій в диференціальній формі:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q(x, y)}{P(x, y)}. \quad (4)$$

Після інтегрування рівняння (4) отримаємо аналітичний вираз для фазових траєкторій:

$$F(x, y, C) = 0,$$

де C – постійна інтегрування, яка визначається початковими умовами.

Для більшості систем в рівнянні (4) змінні не розділяються і воно не інтегрується. Тоді фазовий портрет системи може бути побудований одним із графоаналітичних методів, наприклад методом ізоклін. Рівняння ізокліни:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{Q(x, y)}{P(x, y)} = h,$$

де h – постійна величина, яка визначає кут нахилу дотичних до фазових траєкторій, які проходять через дану ізокліну.

Задаючи послідовний ряд значень h , будуємо на фазовій площині для кожного значення h свою ізокліну. Отримавши, таким чином сітку ізоклін, будуємо фазові траєкторії, переходячи з однієї ізокліни на іншу.

Для кращого зрозуміння запропонованої методики проілюструємо її на прикладах декількох фазових портретів змодельованих пульсограм [10] по різних «відхиленнях», що виникають в серцевому м'язі та кровоносній системі (рис. 1).

Синусовою аритмією називається неправильний синусовий ритм, який характеризується періодами поступового збільшення і зменшення ритму. Вона обумовлена нерівномірним і нерегулярним утворенням імпульсів в

СА-вузлі, що в свою чергу може бути пов'язане з коливанням тонулу блукаючого нерва і (або) змінами кровонаповнення серця під час дихання [11].

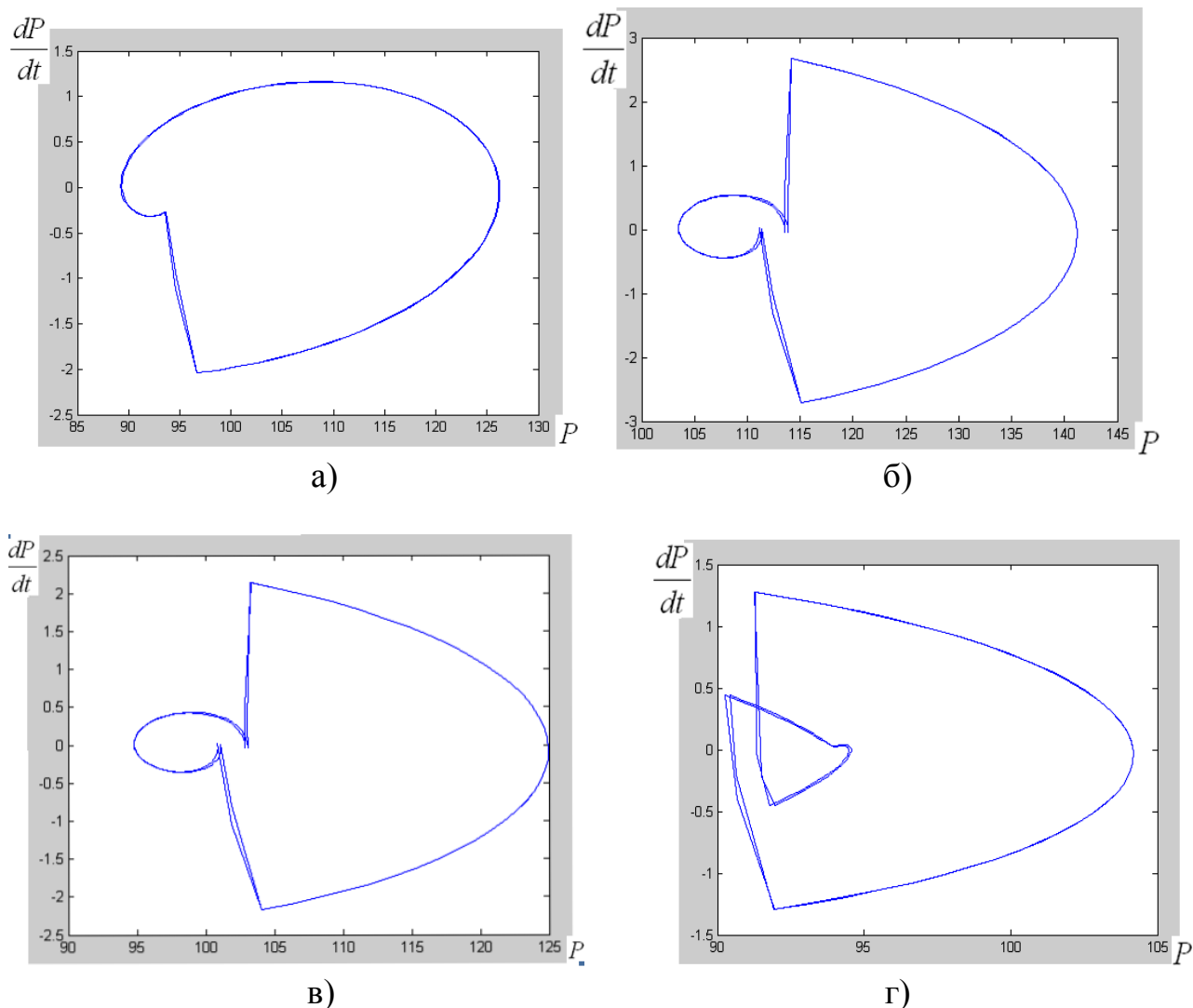


Рис.1. Фазові портрети пульсограм а) в нормі; б) при синусній аритмії; в) при синусній брадикардії; г) при синусній тахікардії.

Синусовою брадикардією називається зменшення ЧСС до 59-40 ударів в хвилину при збереженні правильного синусового ритму [12]. Синусова брадикардія обумовлена зменшенням автоматизму СА-вузла. Часто основною причиною синусової брадикардії є підвищення тонулу блукаючого нерва. Серед здорових людей синусова брадикардія зустрічається особливо часто у спортсменів. В патології вона зустрічається при деяких інфекціях (грип, черевний тиф), при інфаркті міокарда, при підвищеному артеріальному тиску і т.д.

Синусовою тахікардією називається збільшення частоти серцевих скорочень (ЧСС) від 90 до 150-180 ударів в хвилину при збереженні правильного синусового ритму. У абсолютно здорових людей вона виникає

при фізичних навантаженнях або емоційних напруженнях. Вона може розвиватися в результаті ішемії чи дистрофічних змін в синоатріальному вузлі (СА-вузлі), а також при різноманітних інфекціях, токсичній дії на СА-вузол, при підвищеній температурі, при зниженому артеріальному тиску, у хворих з серцевою недостатністю [12].

Таким чином, для реалізації вказаного методу визначення функціонального стану серцево-судинної системи обираємо побудову фазового портрету пульсограм методом ізоклін – метод ліній постійного нахилу. Одним вимірюванням в системі рівнянь є сам сигнал – тиск при проходженні пульсової хвилі P , а іншим – швидкість його зміни в часі $\frac{dP}{dt}$. Дослідження форми петель [13] залежності похідної тиску по часу $\frac{dP}{dt}$ від значення тиску P дозволило виявити нові закономірності потоку крові в аорті, отримати основні фазові портрети пульсової хвилі при різних захворюваннях та оцінити їх діагностичну значимість для прогнозування захворювань на ранніх стадіях.

Діагностична цінність таких досліджень обумовлена тим, що при різних ураженнях серцево-судинної системи міняється не лише сам сигнал, але і його похідні за часом.

Висновки. У результаті проведених досліджень по побудові фазових портретів пульсових хвиль при різних змінах параметрів сфігмограм отримано результати, за якими доведено можливість використання запропонованого методу для дослідження пульсограм.

Подальші дослідження фазових портретів пульсових сигналів та напруження баз даних при різних ситуаціях та впливах на серцево-судинну систему дозволять порівняти та визначити показники фазових портретів для встановлення поточного функціонального стану людини.

Література

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. / И.С. Гоноровский. – [Учебник для вузов. Изд. 2-ое, переработанное и дополненное]. – М.: "Советское радио", 1971. – 672 с.
2. Федоров В.А. Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека / В.А. Федоров; под ред. С.М. Смольского. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 128 с.
3. Атабеков Г.И. и др. Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов. В 3-х ч. Ч. 2 и 3. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле / Атабеков Г.И., Купалян С.Д., Тимофеев, А.Б., Хухриков С.С.; Под ред. Г.И. Атабекова. 4-ое изд., перераб. – М.: Энергия, 1989. – 432 с.
4. Страхов В. П. Метод фазовой плоскости в теории цифровых следящих систем / В. П. Страхов – М., «Энергия», 1967. – 96 с.
5. Васильев Д.В. Радиотехнические цепи и сигналы / Д.В. Васильев, М. Р. Витоль, Ю. Р. Горщенко и др.; Под ред. К. А. Самойло. – [Учеб. пособие для вузов]. – М.: Радио

и связь, 1982. – 528 с.

6 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.

7. Янковенко О.Д. Експериментальне дослідження функціонального стану людини на основі амплітудного спектрального аналізу пульсової хвилі / Янковенко О.Д. // Вісник НТУУ “КПІ”. – 2010. – № 40. – С. 35-41.

8. Файнзильберг Л.С. Диагностическая ценность электрокардиограммы в фазовом пространстве для скрининга ишемической болезни сердца / О. С. Файнзильберг // Український кардіологічний журнал, 2007, №6. – С. 13-18.

9. Мужичька Н.В. Экспрес-діагностика за пульсограмами з використанням методу фазової площини / Н. В. Мужичька, Т. М. Нікітчук, Г. С. Тимчик // Вісник ЖДТУ. Тенічні науки. – 2011. – №4. – В друці.

10. Гніліцький В.В. Уточнення гармонічної моделі пульсової хвилі для експрес-діагностики за пульсограмами / В. В. Гніліцький, Н. В. Мужичька // Вісник ЖДТУ. Тенічні науки. – 2010. – №4(55). – С.28-38.

11. Антонов В.Ф. Физика и биофизика / В. Ф. Антонов, А. М. Черныш, Е. К. Козлова, А. В. Коржуев – [Практикум: Учеб.пособие для студ. высш. учеб. заведений]. – М.: ГЕОТАР-Медиа, 2009. – 336 с.

12. Мурашко В.В. Электрокардиография / В. В. Мурашко, А. В. Струтынский – М.: Медицина, 1987. – 257 с.

13. Нікітчук Т.М. Використання методу фазової площини для дослідження пульсової хвилі / Т.М. Нікітчук, Ю.А. Поліщук // Вісник ЖДТУ. Тенічні науки. – 2011. – №2 (57). – С.80-87.

Нікітчук Т.М. Метод фазової площини як спосіб дослідження стану серцево-судинної системи на основі аналізу пульсової хвилі. У статті розглянуто метод фазової площини, що базується на аналізі у двохвимірному фазовому середовищі біосигналів, та його застосування для дослідження пульсової хвилі; показана можливість побудови фазових портретів пульсових хвиль методом ізоклін. Діагностична цінність таких досліджень обумовлена тим, що при різних ураженнях серцево-судинної системи міняється не лише сам сигнал, але і його похідні за часом. Запропонований метод при удосконаленні та напрацюванні баз даних при різних ситуаціях та впливах на серцево-судинну систему дозволить порівняти фазові портрети пульсограм та визначити діагностичні показники для встановлення поточного функціонального стану людини без проведення тривалих клінічних досліджень та інвазивного втручання.

Ключові слова: фазовий портрет, метод ізоклін, пульсова хвиля.

Нікітчук Т.М. Метод фазовой плоскости как способ исследования состояния сердечно-сосудистой системы на основе анализа пульсовой волны. В статье рассматривается метод фазовой плоскости, основанный на анализе в двухмерной фазовой среде биосигналов, и его применение для исследования пульсовой волны; показана возможность построения фазовых портретов пульсовых волн методом изоклин. Диагностическая ценность таких исследований обусловлена тем, что при различных поражениях сердечно-сосудистой системы меняется не только сам сигнал, но и его производные по времени. Предложенный метод при усовершенствовании и наработке баз данных при различных ситуациях и воздействиях на сердечно-сосудистую систему позволит сравнить фазовые портреты пульсограмм и определить диагностические

показатели для установления текущего функционального состояния человека без проведения длительных клинических исследований и инвазивного вмешательства.

Ключевые слова: фазовый портрет, метод изоклин, пульсовая волна.

Nikitchuk T.N. The method of phase plane as a way to survey the state of the cardiovascular system based on pulse wave analysis. In the paper the method of phase plane, based on the analysis of biosignals two-dimensional phase environment, and its application to study pulse wave. The possibility of construction of phase portraits of the pulse wave method isocline. Diagnostic value of such studies due to the fact that the various lesions of the cardiovascular system is changing not only the signal but also its time derivative. The proposed method to improve and best practices databases in different situations and effects on the cardiovascular system will compare the phase portraits pulsohram and identify diagnostic indicators to establish the current functional state of man without lengthy clinical trials and invasive interventions.

Keywords: phase portrait, method of izoclie, pulse wave.