

---

---

## РАДІОЕЛЕКТРОНІКА БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК: 615.47

### АНАЛІЗ РЕОГРАМ ЗА МЕТОДОМ ФАЗОВОЇ ПЛОЩИНИ

*Манойлов В. П.<sup>1</sup>, д.т.н., проф.; Мосійчук В. С.<sup>2</sup>, к.т.н.;  
Музицька Н. В.<sup>1</sup>, к.т.н.; доц., Нікітчук Т. М.<sup>1</sup>;  
Тимчик Г. С.<sup>2</sup>, д.т.н., проф.*

<sup>1</sup> *Житомирський державний технологічний університет,  
Житомир, Україна*

<sup>2</sup> *Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

#### RHEOGRAM ANALYSE BY PHASE PLANE METHOD

*Manoylov V. P.<sup>1</sup>, Doc. Of Sci (Technics), Prof.;*  
*Mosiychuk V. S.<sup>2</sup>, Cand. Of Sci (Technics);*  
*Muzhitska N. V.<sup>1</sup>, Cand. Of Sci (Technics), associate prof.;*  
*Nikitchuk T. M.<sup>1</sup>; Timchyk G.S.<sup>2</sup>, Doc. Of Sci (Technics), Prof.*

<sup>1</sup> *Zhytomyr State Technological University, Zhytomyr, Ukraine*

<sup>2</sup> *National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

#### Вступ

Одним з найбільш інформативних методів діагностики, що прийшли до нас з глибокої давнини, є пульсова діагностика. Характер пульсу відображає стан окремих органів і організму в цілому, характеризує фізичний і психічний стан людини. Порушення рівноваги у роботі організму, що здатні призвести до захворювання, проявляються у зміні пульсу ще на ранніх стадіях, або в стані «передхвороби» [1].

Форму та характеристики пульсової хвилі можна досліджувати з використанням відносно простих та поширених методик, які загалом полягають в накладанні на шкіру сенсорів, що реєструють зміни тиску (сфігмограма, флебограма), об'єму (плетизмограма), або повного електричного опору тканин (реограма).

Як відомо, реографія — це метод дослідження пульсових коливань кровонаповнення судин різних органів і тканин, що ґрунтується на графічній реєстрації коливань значення величини електричного опору живих тканин, органів та ділянок тіла при пропусканні через них змінного електричного струму. Найчастіше для обробки реограм обирають контурний аналіз форми сигналу [2], який полягає в пошуку і виділенні крайніх (екстремальних) точок однієї хвилі. Так, для реографічних кривих, зареєстрованих з різних ділянок тіла, однозначно виділяють такі елементи хвилі:

початок, вершину і кінець. У більшості ситуацій ці точки визначаються легко, однак при деяких видах судинної патології форма реографічних хвиль настільки значно і своєрідно змінюється, що знаходження цих точок стає навіть неможливим. У таких ситуаціях вдаються до синхронного запису електрокардіограми і першої похідної реограми, що збільшує тривалість процедури і вимагає наявності ряду технічних засобів.

Проте, у сучасній медичній інженерії поширеними стали методи додаткової обробки та аналізу біомедичних сигналів. Зважаючи на наявність технічних засобів для реєстрації реограм, актуальною є проблема створення програмного забезпечення, що полегшать постановку медичного заключення і популяризують реографію, як метод діагностики за пульсограмами. В основу такого програмного забезпечення пропонується покласти дослідження реограм методом фазової площини.

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

У роботах [3–6] проведено дослідження використання методу фазової площини для побудови фазових портретів фотоплетизмографічних пульсограм та подальшого їх аналізу.

Автори роботи [7] реалізують процедуру медичної діагностики за вимірюванням показників фрактальності для фазових портретів кардіограм. Так, в наведеній роботі вдалось встановити, що базові показники фазових траєкторій ЕКГ значно відрізняються для категорій норма-патологія.

В роботі [8] запропоновано новий підхід до методу фазової площини, що реалізується в приладі ФАЗАГРАФ, а саме, проводиться визначення функціонального стану людини за параметрами Т-зубця електрокардіосигналу.

Однак, в наведених наукових працях недостатньо вивчені критерії оцінювання ефективності діагностичних показників фазових портретів біомедичних сигналів та їх окремих ознак.

#### **Формулювання цілей статті**

Підсумовуючи викладені вище аспекти діагностики за реограмами, метою статті є оцінювання діагностичної значимості методу фазової площини відносно обробки та аналізу реографічних пульсових сигналів.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Як відомо з теорії коливань, динаміку системи відображають або в площині, або в просторі станів, які ще називають фазовими [9–11]. Наприклад, можна досліджувати фазовий портрет окремого фізіологічного параметра або усієї системи. Аналіз фазового портрета (атрактора) 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.

Важливою перевагою аналізу системи у фазовій площині є те, що фазовий портрет містить в собі інформацію про поведінку об'єкта протягом усієї діагностичної процедури і не потребує пошуку патологічних ділянок пульсограм. Усі відхилення патологія-норма зображенні в фазовій площині і доступні для візуальної оцінки лікарем-діагностом, навіть без чисельного розрахунку діагностичних показників досліджуваної системи.

**Реєстрація та обробка реографічних кривих**

В дослідженнях використано реограф-поліаналізатор Реан-Полі 1. Під час проведення експерименту було зареєстровано реограми у 20 пацієнтів без попередньої інформації про їх стан здоров'я. В результаті отримано реографічні пульсограми для чотирьох категорій осіб: пацієнтів без патологій серцево-судинної системи та пацієнтів при поширених хворобах кровоносної системи — вегетосудинній та нейроциркуляторній дистоніях (ВСД, НЦД) і гіпертонічній хворобі (ГХ). Усі діагностичні висновки отримані автоматично і підтверджені лікарем-діагностом Обласного медичного консультативно-діагностичного центру Житомирської обласної ради.

Таблиця. 1

Коефіцієнти Хьорста для сигналів, оброблених з використанням різних методів порогової обробки

№ сигналу	Метод			
	rigrsure	heursure	sqtwolog	minimaxi
1	0, 8294	0,8195	0,9125	0,8926
2	0, 8236	0,8180	0,9113	0,8912
3	0, 8264	0,8178	0,9118	0,8918
4	0, 8294	0, 8254	0,9124	0,8923
5	0, 8224	0,8168	0,9108	0,8911
6	0, 8272	0, 8203	0,9111	0,8915
7	0, 8198	0, 8256	0,9120	0,8925
8	0, 8198	0, 8256	0,9120	0,8925
9	0, 8226	0, 8296	0,9126	0,8939
10	0, 8238	0, 8206	0,9112	0,8914
11	0, 8264	0, 8201	0,9111	0,8915
12	0, 8290	0, 8199	0,9125	0,8927
13	0, 8257	0, 8176	0,9118	0,8917
14	0, 8223	0, 8190	0,9115	0,8914
15	0, 8226	0, 8173	0,9120	0,8923
16	0, 8238	0, 8207	0,9123	0,8933
17	0, 8292	0, 8196	0,9125	0,8926
18	0, 8262	0, 8173	0,9127	0,8931
19	0, 8269	0, 8203	0,9111	0,8913
20	0, 8263	0, 8174	0,9118	0,8917

Для попередньої обробки реограм застосовуємо дискретний вейвлет-аналіз з пороговою обробкою вейвлетом Добеші db7, кількість рівнів розкладу — 5. Доцільність використання саме такої цифрової обробки доведено в роботі [12]. В дослідженні перевірено ефективність різних методів об-

робки коефіцієнтів вейвлет-розкладу для вибраного методу цифрової обробки [13]. Критерії обробки сигналів з м'яким порогом обробки, що були застосовані в експерименті, наступні:

- критерій незміщеної оцінки Штайна (rigrsure);
- модифікований критерій Штайна (heursure);
- універсальний критерій Донохо-Джонстона (sqtwolog);
- мінімаксий критерій (minimaxi).

Оцінку ефективності методів порогової обробки проведено з використанням RS-аналізу, доцільність якого при виборі методу цифрової фільтрації доведено в роботі [14].

Аналізуючи дані таблиці, можна зробити висновок, що для даного типу вейвлету при обраному рівні розкладу найефективнішим є метод обробки коефіцієнтів вейвлет-розкладу за критерієм Донохо-Джонстона. Даний метод використано з метою виділення інформативної частини сигналу на фоні шумів та завад.

Оцінку реографічних сигналів у фазовій площині виконано за наступним алгоритмом.

1. Виділення центральний фрагменту реограми тривалістю 3 хв, що не містить моментів початку і закінчення діагностичної процедури.
2. Дискретна вейвлет-фільтрація.
3. Сегментація сигналу на часові періоди;
4. Виділення еталонного періоду реограми;
5. Побудова фазового портрету (рис. 1).
6. Визначення діагностичних показників на фазовому портреті реограми.

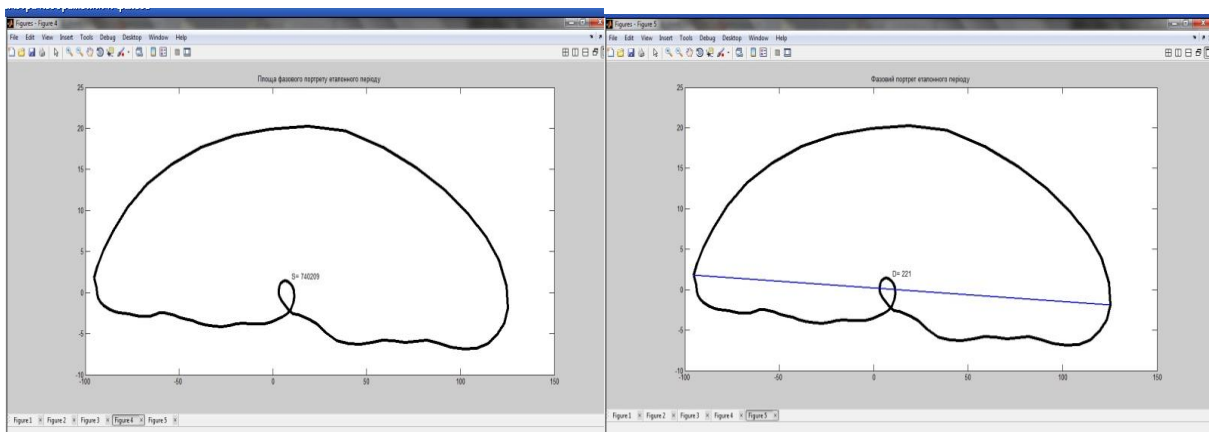


Рис. 1. Обробка та аналіз реограм у фазовій площині

Основні діагностичні показники фазових портретів реограм

Сигнал, №	Діагноз лікаря-діагноста	Відведення	Показник D	Показник S
1	ГХ	FMs	2152	835600
		FMd	2170	839000
2	ГХ	FMs	2168	838270
		FMd	2181	870010
6	ГХ	FMs	2156	836780
		FMd	2166	837620
7	ГХ	FMs	2155	836510
		FMd	2169	839080
14	ГХ	FMs	2150	829520
		FMd	2161	835020
16	ГХ	FMs	2202	835080
		FMd	2216	841930
4	Норма	FMs	1912	742800
		FMd	1915	748610
5	Норма	FMs	1846	784751
		FMd	1849	786800
8	Норма	FMs	1870	757715
		FMd	1873	756140
9	Норма	FMs	1910	756610
		FMd	1915	757120
11	Норма	FMs	1890	785390
		FMd	1894	787610
3	ВСД	FMs	1479	671160
		FMd	1482	693150
10	ВСД	FMs	1514	697320
		FMd	1520	701580
12	ВСД	FMs	1473	673210
		FMd	1481	675420
17	ВСД	FMs	1597	698160
		FMd	1601	701850
18	ВСД	FMs	1592	700715
		FMd	1599	701050
19	ВСД	FMs	1491	670280
		FMd	1503	698100
13	НЦД	FMs	1670	738590
		FMd	1680	740040
15	НЦД	FMs	1631	721164
		FMd	1643	727170
20	НЦД	FMs	1631	721160
		FMd	1638	728210

Аналіз таблиці показує, що для категорії досліджуваних осіб спостерігаються наступні тенденції. У разі відсутності патологій кровоносної системи фазові портрети характеризуються найменшою площею та діаметром в межах між гіпертонічною та дистонічною хворобами. До того ж, у них спостерігаються мінімальні відхилення для реограм, знятих для двох відведень (FMs та FMd) (рис. 2 та 3 відповідно). У разі гіпертонічної хвороби дещо зростає площа фазових портретів і екстремально зростає діаметр, що свідчить про спотворення форми фазового портрету (рис. 4 та 5). Вегетосудинна дистонія та нейросудинна дистонія характеризуються площею, співрозмірною із реограмами типу «норма», проте діаметр їх фазових портретів значно менший, ніж у пацієнтів без патологій. Внаслідок малої експериментальної вибірки, встановити чіткої різниці між пацієнтами з вегетосудинною та нейросудинною дистоніями не вдалося.

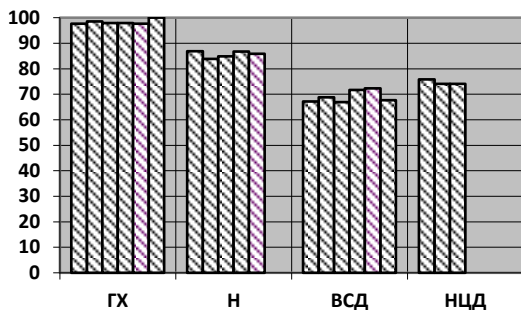


Рис. 2. Гістограма розподілу діаметрів фазового портрету реограм з різними патологіями (відведення FMs)

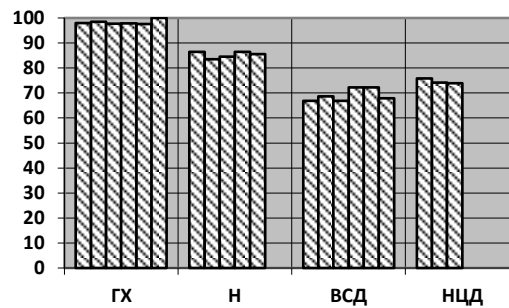


Рис. 3. Гістограма розподілу діаметрів фазового портрету реограм з різними патологіями (відведення FMd)

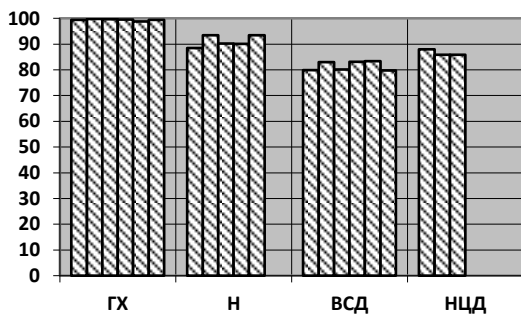


Рис. 4. Гістограма розподілу площі фазових портретів реограм з різними патологіями (відведення FMs)

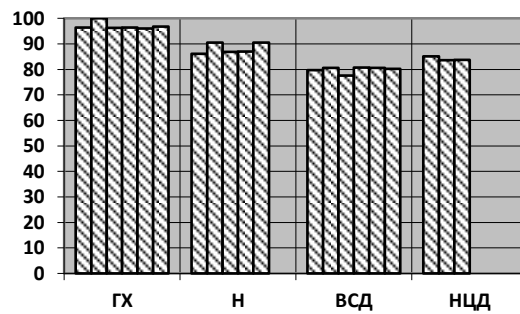


Рис. 5. Гістограма розподілу площі фазових портретів реограм з різними патологіями (відведення FMd)

Отримані результати дають підстави стверджувати, що перехід до аналізу реограм у фазовій площині значно розширює діагностичні можливості методу, служить на користь його популяризації.

Кількісні результати для досліджуваних категорій є попередніми і потребують підтвердження на значно ширшій вибірці пацієнтів. Проте вони

ілюструють чітку залежність для описаних функціональних станів, а значить діагностичні критерії, використані в дослідженні, мають достатню інформаційну цінність.

### **Висновки**

Оброблення та аналіз реограм у фазовій площині розширює діагностичні можливості реографії. Використання методу фазової площини для циклового аналізу реографічних сигналів дозволяє оцінити варіабельність параметрів пульсограми протягом усієї діагностичної процедури. Діагностичні показники, розроблені для кількісної оцінки фазових портретів реограм, виявили високу діагностичну цінність для окремих патологічних станів кровоносної системи та для ситуацій типу «норма».

### **Література**

1. Десова А. А. Компьютерная система диагностики на базе анализа ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии / А. А. Десова, Ю. С. Легович, О. С. Разин // Медицинская техника. — 1999. — № 2. — С. 3—5.
2. Фролов Д. Н. Разработка структурных методов и системы автоматизированного анализа реограмм: автореф. дис.канд.техн.наук. — Томск, 1980.
3. Манойлов В. Ф. Возможность диагностики сердечно-сосудистой системы с помощью представления пульсовой волны в фазовой плоскости / В. Ф. Манойлов, Т. Н. Никитчук — СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Материалы XX Международной Крымской конференции КрыМиКо'2010. — Севастополь: Крымиус, 2011. — С. 1169—1170.
4. 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.
5. Нікітчук Т. М. Метод фазової площини як спосіб дослідження стану рцевосудинної системи на основі аналізу пульсової хвилі/ Т. М. Нікітчук // Вісник Національного технічного університету України «КПІ»: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2012. — № 48. — С. 179—185.
6. Мужичька Н. В. Експрес-діагностика за пульсограмами з використанням методу фазової площини / Н. В. Мужичька, Т. М. Нікітчук, Г. С. Тимчик // Вісник ЖДТУ: технічні науки. — 2011. — № 4 (59). — С. 66—70.
7. Волошина О. А. Метод ЕКГ диагностики функционального состояния человека на основе фрактального анализа и вейвлет-преобразования / О. А. Волошина, В. П. Олейник, С. Н. Кулиш, Аль Отти Сами // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. — 2010. — №4 (45). — С. 29—34.
8. Файнзильберг Л. С. Диагностическая ценность электрокардиограммы в фазовом пространстве для скрининга ишемической болезни сердца / Л. С. Файнзильберг // Український кардіологічний журнал. — 2007. — №6. — С. 13—18.
9. Страхов В. П. Метод фазовой плоскости в теории цифровых следящих систем / В. П. Страхов — М. : «Энергия», 1967. — 96 с.
10. 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.
11. 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.

12. Мужичька Н. В. Експрес-діагностика на основі дискретного вейвлет-аналізу пульсограм: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.17 "Біологічні та медичні прилади і системи" / Мужичька Наталія Віталіївна ; Національний технічний університет "КПІ". — Київ, 2012. — 26 с.

13. Тимчик Г. С. Обробка пульсового сигналу в фазовій площині з використанням методів R/S статистики / Г. С. Тимчик, Н. В. Мужичька, Т. М. Нікітчук // Тези Третьої Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» 29-31 травня 2012, ВНТУ, Вінниця.

14. Обработка сигналов и изображений [Электронный ресурс]. Режим доступа — <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/book1/10/thselect.php>

#### References

1. Desova A. A., Legovich Yu. S., Razin O. S. Komputernaya sistema diagnostiki na baze analiza ritmicheskoy strukturi pulsovogo signala luchevoy arterii, Medicinskaya tehnika, 1999, № 2, p. 3-5.

2. Frolov D.N. Razrabotka strukturnih metodov i sistem avtomatizirovannogo analiza reogramm: avtoref. dis. kand. tehn.nauk., Tomsk, 1980.

3.. Manoylov V. F., Nikitchuk T. N. The technique of pulse signals processing in a phase plane, 21<sup>st</sup> Int. Crimean Conference "Microwave Telecommunication Technology" (CriMiCo'2011), 2011, p. 1169-1170.

4. Nikitchuk T. N., Polischuk Yu. A. Vykoristannya metodu fazovoi ploschiny dlya doslidzhennya pul'sovoi hvyli, Visnik ZHDTU. Tenichni nauki, 2011, №2 (57), p.80-87.

5. Nikitchuk T. N. Metod fazovoi ploschini yak sposib doslidzhennya stanu sercevo-sudinoi systemy na osnovi analizu pul'sovoi hvyli, Bulletin of National Technical University of Ukraine. Series Radiotechnique. Radioapparatus building, 2012, № 48, p. 179 - 185.

6. Muzhitska N. V., Nikitchuk T. N., Timchyk G. S Ekspres-diagnostika za pul'sogramami z vikoristannyam metodu fazovoi ploschiny, Visnik ZHDTU, tehnicni nauki, 2011, № 4 (59), p. 66 - 70.

7. Voloshina O.A., Oleynik V.P., Kulish S.N. Metod EKG diagnostiki funkcional'nogo sostoyaniya cheloveka na osnove fraktal'nogo analiza i wavelet-preobrazovaniya, Radioelektronni i komp'yuterni sistemi, 2010, №4 (45), p. 29 - 34.

8. Fainzilberg, L. S. Diagnosticheskaya cennost elektrokardiogrammi v fazovom prostanstve dlya skringinga ishemicheskoy bolezni serdca, Ukrainskiy kardiologichniy zhurnal, 2007, №6, p. 13-18.

9. Strahov V. P. Metod fazovoy ploskosti v teorii cifrovih sledyaschih system, Moskva, Energiya, 1967, 96 p.

10. Vasil'ev D.V. Radiotekhnicheskie cepi i signali, Moskva, Radio i svyaz, 1982, 528 p.

11. Gonorovskiy I.S. Radiotekhnicheskie cepi i signali, Moskva, Sovetskoe radio, 1971, 672 p.

12. Muzhitska N.V. Ekspres-diagnostika na osnovi diskretnogo wavelet-analizu pulsogram: Avtoref. dis. kand. tehn. Nauk, - Kiev, 2012, 26 p.

13. Timchyk G.S., Muzhitska N.V., Nikitchuk T.N. Obrobka pulsovogo signalu v fazoviy ploschini z vykorystannyam metodiv R/S statistiki, Informaciyni tehnologii ta kompyuterna inzheneriya, 29-31 travnya 2012, VNTU, Vinnicya.

14. Obrabotka signalov i izobrazheniy, <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/book1/10/thselect.php>



Манойлов В. П., Мосійчук В. С., Мужицька Н. В., Нікітчук Т. М. Тимчик Г. С. **Аналіз реограм за методом фазової площини.** У статті проведено результати обробки реографічних сигналів методом фазової площини. Обґрунтовано вибір виду фільтрації та коефіцієнтів дискретного вейвлет-розкладу реографічного сигналу на основі розрахунку коефіцієнту Хьорста. Доведено діагностична цінність аналізу реограм за фазовими портретами, рекомендовано діагностичні критерії. Результати роботи приведені на основі експериментальних клінічних досліджень.

**Ключові слова:** пульсова хвиля, реограма, фазовий портрет, реографія, вейвлет перетворення, цифрове оброблення сигналів..

Манойлов В. Ф., Мосийчук В. С., Мужицкая Н. В., Никитчук Т. Н. Тымчик Г. С. **Анализ реограмм методом фазовой плоскости.** В работе приведены результаты обработки пульсовых сигналов реограмм методом фазового портрета. Обосновано выбор вида фильтрации и коэффициентов дискретного вейвлет-преобразования на основе коэффициента Хьюста. Доказано диагностическая ценность анализа реограмм по их фазовым портретам. Результаты работы основаны на экспериментальных исследованиях в клинике.

**Ключевые слова:** пульсовая волна, реограмма, фазовый портрет, реография, вейвлет преобразование, цифровая обработка сигналов.

Manoylov V. P., Mosiychuk V. S., Muzhitska N. V., Nikitchuk T. H., Timchyk G.S. **Rheogram analyse by phase plane method.** Rheography or impedance plethysmography is a non-invasive medical method of electrical resistance measurements that reflects blood volume changes of a tissue. Rheogram signals are usually processed by the form analyze where quantity assessment based on characteristic point. But rheography signal might be so specific in the case of some disease that this method is not possible to use. Therefore we research possibility of using phase plane method for rheogram analyze for more accurate diagnose. We have registered signals from four group of patient: healthy, with vascular dystonia, neurocirculatory dystonia and hypertension pathology. Different types of signal preprocessing in particular filtration with soft threshold are compared to accept appropriate result from applying phase plane method. The most appropriate result is achieved by applying discrete wavelet transform with coefficient based on Hirst ratio. Diagnostic value of rheograms analysis by their phase portraits is proved. Especially, it is possible to recognize norm and pathology by two quantitative measures of phase portrait: diameter and square.

**Keywords:** pulse wave, rheogram, phase plane, rheography, impedance plethysmography, wavelet, signal processing.