

**Т. М. Нікітчук**, *к.т.н., доцент*

Житомирський державний технологічний університет  
вул. Черняхівського, буд. 103, м. Житомир, 10003, Україна  
[tnikitchuk@mail.ru](mailto:tnikitchuk@mail.ru)

## БІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ПУЛЬСОГРАМ

*Стаття присвячена розробці біотехнічної системи пульсограм на основі фазових портретів, що ґрунтується на визначенні взаємозв'язку між різноманітними станами серцево-судинної системи та відповідними характеристиками фазових портретів пульсограм.*

*За розробленим алгоритмом аналізу пульсограм у фазовій площині проводяться експериментальні дослідження та перевірка результатів моделювання за даними обстежень. Підтверджено, що при зміні стану серцево-судинної системи змінюється фазовий портрет пульсограми і, відповідно, його показники (показники фрактальності). В процесі діагностики оцінюється інформативність критеріїв, визначається, до якого класу пульсу відноситься сигнал, а також за типами пульсу та їх класифікацією визначається ймовірність тієї чи іншої патології серцево-судинної системи.*

*Таким чином, запропонована в роботі біотехнічна система аналізу пульсограм може бути використана як самостійна система для встановлення попереднього діагнозу, а також може служити доповненням до вже популярних методів діагностики за пульсограмами.*

**Ключові слова:** біотехнічна система, пульсограма, пульсовий сигнал, фотоплетизмограма, серцево-судинна система.

**Вступ.** Інтерес до вивчення методів діагностування серцево-судинної системи зумовлений тим, що її патології є першочерговими чинниками смертності населення в усьому світі. З метою виявлення перших ознак хвороб системи кровообігу та їх профілактики необхідно забезпечити медичні заклади ефективними методиками діагностики та автоматизованими системами, здатними аналізувати стан серцево-судинної системи (ССС) і надавати інформацію про наявність/відсутність її дисфункції. Це дозволить прискорити процедуру встановлення діагнозу, підвищити ефективність медичної діагностики, розробити профілактичні заходи для запобігання захворюванням кровоносної системи.

**Постановка проблеми.** Найбільш популярними в Україні на сьогодні є методи дослідження стану ССС за електрокардіограмами, ехокардіограмами, рідше – за реограмами та фотоплетизмограмами (Asmar R., Регірер С. А., Педлі Т., Бакусов Л. М., Баєвський Р. Б., Бороноев В. В., Савицький М. М., Терехова Л. Г., Сторчун Ю. Є., Фесечко В. О., Іванушкіна Н. Г., Шарпан О. Б., Тимчик Г. С., Файнзільберг Л. С., Павлов С. В., Злепко С. М., серед молодих науковців України – Мосійчук В. С., Мужичька Н. В., Колесникова Т. А, Козловська Т. І. та ін.). Популярність

цих методів пов'язана з тим, що вони інтерпретують сигнали в координатах амплітуда – час, що є звичним для лікаря-діагноста. Використання нових методів обчислення характеристик системи кровообігу обмежується неможливістю їх коректного трактування. Так, популярні на Заході методи діагностики за Фур'є-, вейвлет-спектрами набувають поширення в Україні лише в системах з автоматизованою постановкою діагнозу. Автоматизована діагностика стану серцево-судинної системи за аналізом пульсових кривих у часовій області ускладнюється наступними аспектами. В першу чергу, для достовірного діагностичного висновку необхідно обчислити значну кількість параметрів роботи ССС. По-друге, необхідно встановити точну математичну залежність для їх відхилень від нормованих значень на основі біофізичних моделей кровообігу. Зрештою, все це потребує складних обчислювальних алгоритмів і впливає на швидкість постановки висновку. Цей факт стимулює розроблення нових методів діагностики стану ССС з обов'язковою реалізацією задачі автоматизації висновку.

У разі переходу до аналізу пульсових кривих у фазовій площині [1–6] зміна стану серцево-судинної системи однозначно відображається рухом точки і, як наслідок, фор-

мою фазової траєкторії. Таким чином, фазовий портрет [1–6] як сукупність фазових траєкторій однозначно характеризує стан досліджуваної системи лише в двох координатах і при цьому відображає всі зміни, можливі в системі. Ще в роботі Н. А. Амосова та його колег [7] вказано на можливість дослідження скорочувальної функції міокарда у фазовому просторі, координатами якого є амплітуда та швидкість зміни амплітуди. Діагностична цінність таких досліджень обумовлена тим, що при різних ураженнях ССС змінюється не тільки сам сигнал, а й його похідні за часом.

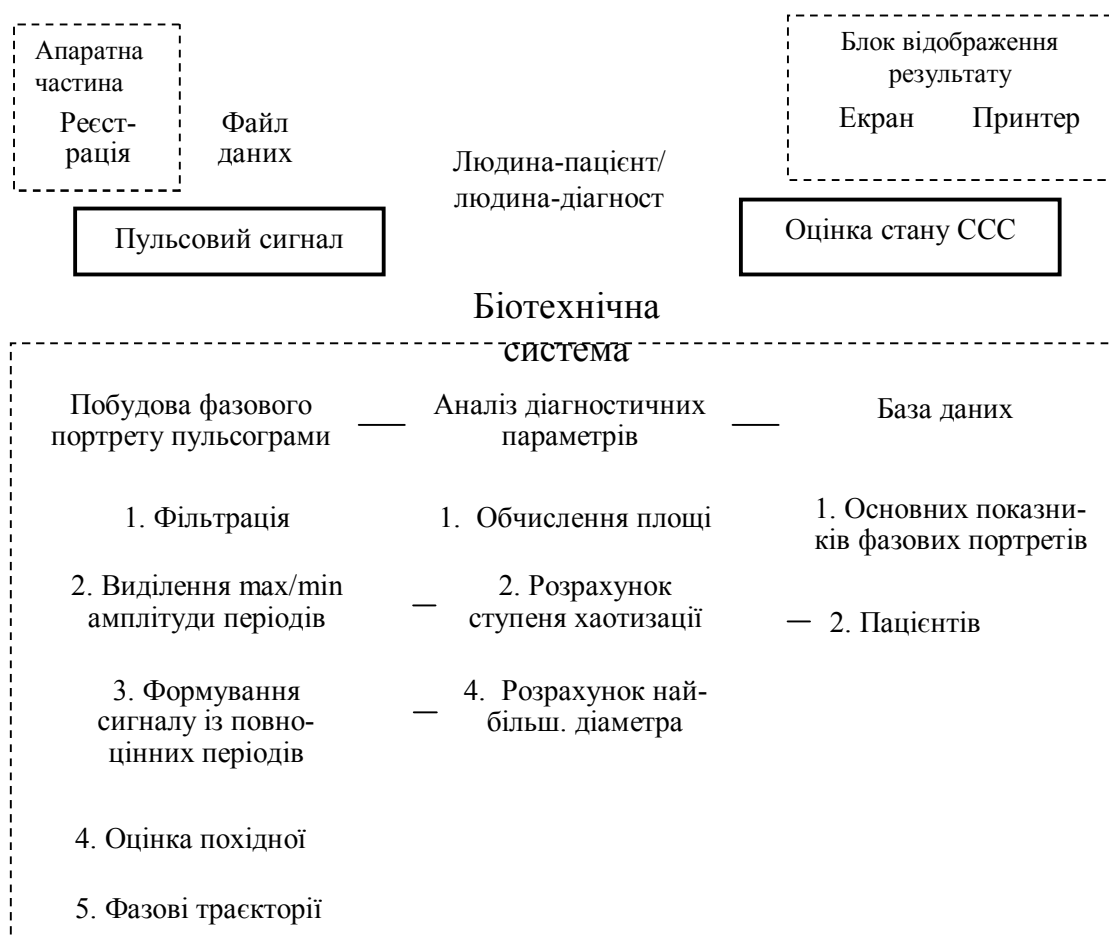
**Мета роботи.** Розроблення біотехнічної системи (БТС) аналізу пульсограм на основі фазових портретів, що ґрунтується на визначенні взаємозв'язку між різноманітними станами ССС та відповідними характеристиками фазових портретів пульсограм.

**Основна частина.** Враховуючи актуальність застосування пульсової діагностики як одного з найдавніших діагностичних прийомів та необхідність автоматизації діагнос-

тичного висновку про стан ССС на кафедрі радіотехніки, радіоелектронних апаратів та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету було розроблено комплекс – біотехнічну систему аналізу пульсограм.

Структура автоматизованої біотехнічної системи, що включає реєстрацію, обробку, моделювання пульсових сигналів, аналіз пульсограм у фазовій площині та встановлення висновку про тип сигналу і наявність/відсутність дисфункції серцево-судинної системи зображена на рис. 1 [1–6, 8–11].

На основі проведеного порівняльного аналізу методів та засобів реєстрації, оброблення та аналізу пульсограм [15], враховуючи переваги фотоплетизмографічного методу та типу перетворювача, що призначений для реєстрації пульсової хвилі цим методом, а також обмеження, які слід подолати, базовим біосигналом для створення блока реєстрації БТС обрано пульсограму, отриману за допомогою зазначеного методу.



**Рис. 1.** Структурна схема автоматизованої біотехнічної системи аналізу пульсограм на основі фазових портретів

Аналогова частина БТС пульсограм складається з оптичного давача (сенсора), підсилювача, модулятора [10], а інші блоки відносяться до цифрової частини. Підсилені сигнали, що надходять з датчика, через USB-вхід передаються на ПК і у вікні програми відображається попередньо оброблений фотоплетизмографічний сигнал.

Реєстрація фотоплетизмографічних сигналів проводилась за допомогою схеми, зображеної на рис. 2.

Для передачі даних від мікроконтролера МК до персонального комп'ютера ПК найдоцільніше використовувати USB-вхід, оскільки, порівнюючи із послідовним інтерфейсом RS-232, при його використанні вирішується проблема подолання обмежень у використанні ПК (RS-232 не використовується в сучасних нетбуках).

Щоб зчитувати графік пульсу, можливо підключити датчик безпосередньо до осцилографа, попередньо підсиливши сигнал, реалізувати невеличку модель в пакеті MATLAB для подальшого аналізу пульсограм. Варто звернути увагу на те, що відображення графіка пульсу відбувається в реальному часі. Та-

кож ведеться запис даних у базу, що буде дуже зручним для ведення статистики та історії обстежуваних.

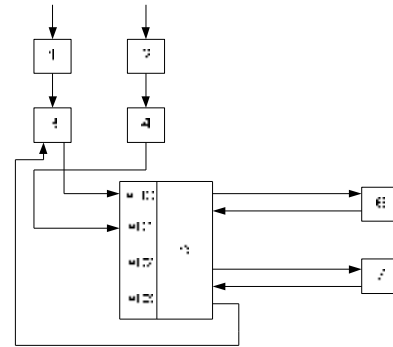


Рис. 2. Структурна схема апаратної частини системи реєстрації, обробки та аналізу пульсових хвиль з урахуванням антропометричних характеристик людини (1 і 2 – фотодатчики; 3 і 4 – підсилювачі; 5 – мікроконтролер; 6 – USB-контролер; 7 – персональний комп'ютер)

Зовнішній вигляд апаратно-програмного комплексу та вікна з пульсограмами при різних патологіях зображені на рис. 3.



Рис. 3. Вигляд апаратно-програмного комплексу (а) та вікна з пульсограмами (б)

Програмний блок складається із чотирьох модулів:

1. Модуль запису фотоплетизмограм (реалізовані можливості виконання збереження та подальшого завантаження записаних фотоплетизмограм з метою обробки та аналізу у фазовій площині для встановлення ви-

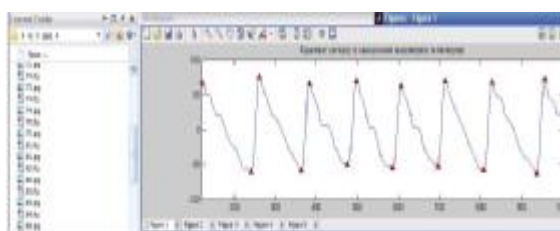
сновку про даний тип сигналу. Збереження та відтворення файлів можливе для типу файлів з розширенням .txt, .dat, .bin).

2. Модуль попередньої обробки сигналів у режимі реального часу (включає комп'ютерну фільтрацію сигналу, занесення фотоплетизмографічної кривої до модуля за-

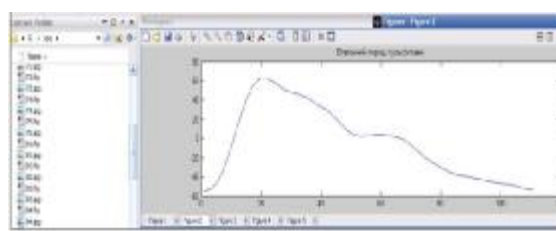
пису фотоплетизмограм або відображення графіка  $x(t)$  на екрані ноутбука з метою подальшого аналізу).

3. Модуль комп'ютерного аналізу пульсограм у фазовій площині. Комп'ютерна обробка та аналіз пульсограм складаються з таких етапів: виділення  $\max/\min$  сигналу кожного окремого циклу (рис. 4, а)); селекція циклів, що підлягають усередненню; оцінювання усередненого циклу (рис. 4, б)); інтерпретація сигналу у фазовій площині (рис. 4, в)); оцінювання усередненого фазового портрету пульсограм (ФПП) (рис. 4, з)); аналіз значень показників ФПП-еталона, порівняння із базою даних (рис. 4, д)); відображення результату (висновок про стан ССС) (рис. 4, е)).

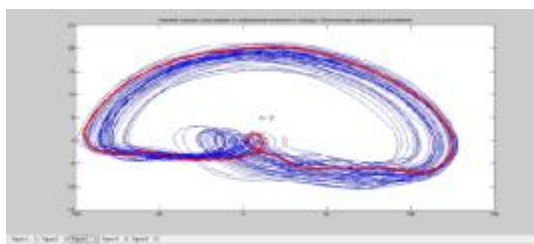
4. Модуль візуалізації проміжних і кінцевих результатів (проміжні результати аналізу пульсограм за їх фазовими портретами з'являються у вікнах програми на моніторі). Висновок-результат виводиться або на екран ПК, або на папір та автоматично заноситься в базу даних. Результати обстеження архівуються і видаються за запитом користувача.



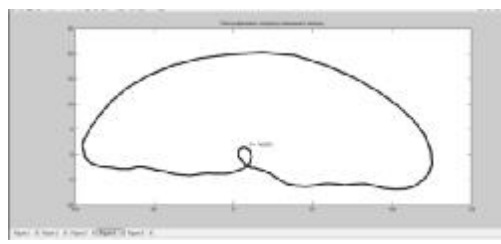
а)



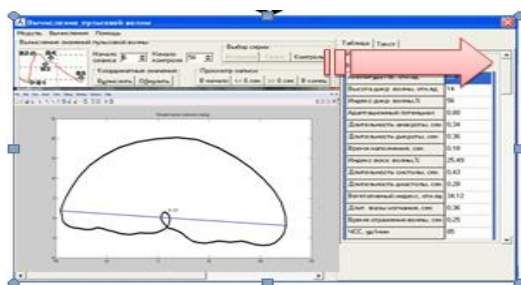
б)



в)



з)



д)

Показники ФПП	Наявність патології
Площа	Так/ні
Фазова розмірність	Так/ні
Ступінь хаотичності	Так/ні

е)

Рис. 4. Етапи комп'ютерної обробки та аналізу пульсограм у фазовій площині

**Висновок.** За розробленим алгоритмом аналізу пульсограм у фазовій площині проводяться експериментальні дослідження та перевірка результатів моделювання за даними обстежень. Підтверджено, що при зміні стану ССС змінюється фазовий портрет пульсограми і, відповідно, його показники (показники фрактальності).

У процесі діагностики оцінюються інформативність критеріїв, визначається, до

якого класу пульсу відноситься сигнал, а також за типами пульсу та їх класифікацією визначається ймовірність тієї чи іншої патології серцево-судинної системи.

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

## Список літератури

1. Федоров В. А. Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека / В. А. Федоров ; под ред. С. М. Смольского. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 128 с.
2. Нікітчук Т. М. Метод фазової площини як спосіб дослідження стану серцево-судинної системи на основі аналізу пульсової хвилі // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2012. – Вип. 48. – С. 179–185. – (Серія : «Радиотехніка. Радіоапаратобудування»).
3. Никитчук Т. Н. Возможность представления пульсовой волны в фазовых координатах / Т. Н. Никитчук, В. Ф. Манойлов // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2010) : материалы 20-й Междунар. Крымской конф., Севастополь, 13–17 сентября 2010 г. : в 2 т. – Севастополь : Вебер, 2010. – Т. 2. – С. 1169–1170.
4. Манойлов В. П. Дослідження пульсового сигналу у фазовій площині / В. П. Манойлов, Т. М. Нікітчук, Ю. А. Поліщук // Тези XXXVI науково-практичної Міжвузівської конференції, присвяченої Дню науки, 12-13 травня 2011 року. – Житомир, 2011. – Т. I. – С. 87–88 с.
5. Манойлов В. Ф. Методика обработки пульсовых сигналов в фазовой плоскости / Т. Н. Никитчук, В. Ф. Манойлов // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011) : материалы 21-й Междунар. Крымской конф., Севастополь, 12–16 сентября 2011 г. : в 2 т. – Севастополь : Вебер, 2011. – Т. 2. – С. 1040–1041.
6. Мужичька Н. В. Експрес-діагностика за пульсограмами з використанням методу фазової площини / Н. В. Мужичька, Т. М. Нікітчук, Г. С. Тимчик // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир, 2011. – Вип. IV (59). – С. 66–69. – (Серія : технічні науки). – ISSN 1728–4260.
7. Амосов Н. М. Исследование сократительной функции миокарда методом фазовых координат / Н. М. Амосов, Б. Т. Агапов, Ю. В. Паничкин // Доклады АН СССР. – 1972. – Т. 202. – № 1. – С. 245–247.
8. Тимчик Г. С. Обробка пульсового сигналу в фазовій площині з використанням методів R/S статистики / Г. С. Тимчик, Н. В. Мужичька, Т. М. Нікітчук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : тези доп. Третьої Міжнар. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 29-31 травня 2012 року. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – С. 89–90.
9. Мужичька Н. В. Спосіб класифікації пульсограм в діапазоні «1 період – 1 діагностична процедура» / Н. В. Мужичька, Т. М. Нікітчук, Г. С. Тимчик // Обробка сигналів і негауссівських процесів : тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої пам'яті професора Ю. П. Кунченка ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2013. – С. 76–78.
10. Нікітчук Т. М. Апаратно-програмний комплекс реєстрації та відображення пульсової хвилі / Т. М. Нікітчук // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2013. – № 1. – С. 30–35. (Серія : Технічні науки).
11. Нікітчук Т. М. Порівняльний аналіз методів реєстрації пульсової хвилі / Т. М. Нікітчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 183–186. – ISSN 2226-9150. – (Серія : Технічні науки).

## References

1. Fedorov, V. A. (2008) Radiotechnical methods in functional human diagnostics. Moscow: Izdatelskiy dom MEI, 128 p. [in Russian].
2. Nikitchuk, T. N. (2012). Method of phase plane as a way to study cardiovascular system by analyzing the pulse wave. *Visnyk Natsionalnoho Tehnichnoho Universytety Ukrainy "Kyivskyy Politehnychnyy Instytut" Seriya: Radiotekhnika. Radioaparatobuduvannya*, (48), pp. 179–185 [in Ukrainian].
3. Nikitchuk, T. N. and Manoylov, V. F. (2010) Ability to view the pulse wave in phase coordinates. In: *20-th. International Crimean Conference "Microwave equipment and Telecommunicational Technologies" (KryMiKo'2010)*. Sevastopol, pp. 1169-1170 [in Russian].
4. Manoylov, V. P., Nikitchuk, T. N. and Polishchuk, Yu. A. (2011) Research of pulse signal in phase plane. In: *XXXVI Interuniversity scientific and practical conference dedicated to the Day of Science*, pp. 87–88 [in Ukrainian].

5. Manoilov, V. P. and Nikitchuk, T. N. (2011) Methods of processing of pulse signals in phase plan. In: *21th International Crimean Conference "Microwave equipment and telecommunication technologies" (KryMiKo'2011)*, pp. 1040–1041 [in Russian].
6. Muzhitska, N. V., Nikitchuk, T. N. and Tymchyk, G. S. (2011) Express diagnostics according to pulsograms using the method of phase plane. *Visnyk Zhytomyrskoho Derzhavnogo Tehnologichnoho Universytetu. Seriya: tehnichni nauky*, (4), pp. 66–69 [in Ukrainian].
7. Amosov, N. M., Agapov, B. T. and Panichkin, Yu. V. (1972). The study of myocardial contractility by phase coordinates. *Doklady AN USSR*, T.202, (1) pp. 245–247 [in Russian].
8. Tymchyk, G. S. Muzhitska, N. V. and Nikitchuk, T. N. (2012) Processing pulse signal in phase plane techniques using R/S statistics. In: *Informatsiyni tehnologii ta kompjuterna inzheneriya: tezy dop. Tretiyoi Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Vinnitsa, pp. 89–90 [in Ukrainian].
9. Muzhitska, N. V., Nikitchuk, T. N. and Tymchyk, G. S. (2013) Pulsogram classification method in the range "1 period - 1 diagnostic procedure". In: *Obrobka sygnaliv i negausivskyh procesiv: tezy dop. IV Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Cherkasy, pp.76–78 [in Ukrainian].
10. Nikitchuk, T. N. (2013) Hardware-software complex of registration and display of pulse wave. *Visnyk Cherkaskogo Derzhavnogo Tehnologichnoho Universytetu. Seriya: tehnichni nauky*, (1), pp. 30–35 [in Ukrainian].
11. Nikitchuk, T. N. (2013) Comparative analysis of methods of pulse wave recording. *Visnyk Khmelnytskoho Nacionalnoho Universitetu. Seriyas: tehnichni nauky*, (1), pp. 183–186 [in Ukrainian].

**T. M. Nikitchuk**, *Ph.D., associate professor*  
Zhytomyr State Technological University  
Chernyakhovskyy str., 103, Zhytomyr, 10003, Ukraine  
[tnikitchuk@mail.ru](mailto:tnikitchuk@mail.ru)

### BIOTECHNICAL SYSTEM FOR PULSOGRAM ANALYSIS

*The interest in the study of methods for cardiovascular system diagnosing is conditioned by the fact that its pathologies are primary factors of population mortality worldwide. In order to detect the first signs of cardiovascular diseases and prevent them it is necessary to provide medical establishments with effective methods of diagnostics and automated systems, able to analyze the state of cardiovascular system and provide information on the presence/absence of its disfunction. This will speed up the diagnosis procedure, improve medical diagnostics, develop preventive measures to prevent diseases of circulatory system.*

*The article is devoted to the development of biotechnical system for pulsogram analysis based on determining the relationship between various states of cardiovascular system and respective characteristics of pulsogram phase portraits.*

*The methods for the study of cardiovascular system by electrocardiograms, echocardiograms, at least – by rheograms and fotopletyzmograms are the most popular in Ukraine today. The popularity of these methods is connected with the fact that they interpret signals in amplitude - time coordinates, which is normal for the doctor-diagnostician. The use of new methods of calculating the characteristics of circulatory system is limited by the inability of their correct interpretation. Thus, popular in the West diagnostic methods by Fourier-, wavelet-spectra are spreading in Ukraine only in systems with automated diagnosis. Automated diagnostics of cardiovascular system by the analysis of pulse curves in time domain is complicated by the following aspects. First of all, for a reliable diagnostic conclusion one must calculate a significant number of parameters of cardiovascular system work. Secondly, it is necessary to establish exact mathematical relationship for their deviations from normalized values based on biophysical models of circulation. Finally, all this requires complex computational algorithms and affects the speed of setting conclusions. This fact stimulates the development of new meth-*

*ods of diagnostics of cardiovascular system state with obligatory implementation of the task of conclusion automation.*

*In the case of the analysis of pulse curves in phase plane the change of cardiovascular system state is clearly reflected by the movement of a point and, consequently, by the form of phase trajectory. Thus, phase portrait as a set of phase trajectories uniquely characterizes the state of the system in only two coordinates and reflects all changes which are possible in the system. Already the paper of N. A. Amosov and his colleagues has indicated the possibility of myocardial contractile function in phase space with the coordinates of amplitude and amplitude's rate of change. Diagnostic value of such research is due to the fact that at various lesions of cardiovascular system not only the signal itself but also its derivatives over time are changed.*

*In the paper the structure of automated biotechnical system, including registration, processing, simulation of pulse signals, pulsogram analysis in phase plane and setting of the conclusion on signal type and the presence / absence of disfunction of cardiovascular system are considered. Based on comparative analysis of methods and means of registration, processing and analysis of pulsograms, taking into account the advantages of fotopletyzomographical method and the type of converter that is designed to record pulse wave by this method, and limitations that must be overcome, the pulsogram obtained with the use of this method is the basic biosignal to create BTS registration block.*

*After developed algorithm of pulsograms analysis in phase plane experimental studies and control of modeling results according to cardiovascular evaluations are conducted. It is confirmed that with the change of the state of cardiovascular system, pulsogram phase portrait and, accordingly, its indices (fractality indices) are changed. During the diagnostics criteria informativeness is evaluated, it is determined which class pulse signal belongs to, as well as by pulse types and their classification the probability of either pathology of cardiovascular system is determined.*

*Thus, proposed in this paper BTS of pulsogram analysis can be used as independent system for establishing preliminary diagnosis and also can be used as an addition to already popular diagnostic methods for pulsograms.*

**Keywords:** *biotechnical system, pulsogram, pulse signal, fotopletyzomogram, cardiovascular system.*

*Рецензенти: В. П. Манойлов, д.т.н., професор,  
Ю. В. Журавський, д.т.н., професор*