

# ВИКОРИСТАННЯ ДОСЯГНЕНЬ НАУКИ ТА ТЕХНІКИ В ЕКСПЕРТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

УДК 519.711.3:343.98

**Л.С. Файнзільберг**, доктор технічних наук,  
головний науковий співробітник Міжнародного  
науково-навчального центру інформаційних  
технологій та систем НАН і МОН України

**З.А. Корчинська**, науковий співробітник  
Міжнародного науково-навчального центру  
інформаційних технологій та систем НАН і МОН України

**М.О. Семергей**, науковий співробітник  
Міжнародного науково-навчального центру  
інформаційних технологій та систем НАН і МОН України

## ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОГО МЕТОДУ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИ ЗА ФАЗОВИМ ПОРТРЕТОМ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ

Розглянуто метод біометричної ідентифікації особи за фазовим портретом електрокардіограми, який може бути застосований у системах захисту від несанкціонованого доступу, криміналістиці, правоохоронній та інших сферах.

*Ключові слова:* біометричні методи, ідентифікація особи, електрокардіограма, фазовий портрет електрокардіограми.

Рассмотрен метод биометрической идентификации личности по фазовому портрету электрокардиограммы, который может быть применен в системах защиты от несанкционированного доступа, криминалистике, правоохранительной и других сферах.

The article reviews the method of biometric identification ECG phase portrait, which can be used in security systems from unauthorized access, criminology, law enforcement and other areas.

Останнім часом дедалі більшої актуальності набуває проблема біометричної ідентифікації людини, яка ґрунтується на аналізі індивідуальних характеристик особистості.

Згідно із Законом України [1]:

- ідентифікація особи — встановлення тотожності особи за сукупністю інформації про неї за допомогою біометричних даних, параметрів;
- біометричні дані — сукупність даних про особу, зібраних на основі фіксації її характеристик, що мають достатню стабільність та суттєво відрізняються від аналогічних параметрів інших осіб (біометричні дані, параметри — відцифрований підпис особи, відцифрований образ обличчя особи, відцифровані відбитки пальців рук);
- біометричні параметри — вимірювальні фізичні характеристики або особистісні поведінкові риси, що використовують для ідентифікації (впізнання) особи або верифікації наданої ідентифікаційної інформації про особу.

Як відомо, такі біометричні технології, як відбитки пальців (дактилоскопія), ідентифікація особи людини за почерком (графологія), використання даних про зовнішній вигляд (габітологія) давно застосовують і досліджують у криміналістиці під час запобігання та розкриття злочинів. З розвитком інформаційних технологій удосконалюються біометричні системи, знижується їх вартість, що підвищує попит та розширює галузі їх використання (дактилоскопічні системи, засновані на автоматичному розпізнаванні відбитків пальців, комп'ютерні технології розпізнавання зображення особи, індивідуальних властивостей мови тощо) [2].

Гіпотезу про можливість побудови нових біометричних технологій, заснованих на індивідуальних особливостях фазового портрету електрокардіограми (далі — ЕКГ), вперше було сформульовано у 1995 році у працях вчених [3; 4]. Згодом біометричні технології, засновані на унікальних властивостях ЕКГ, було розглянуто у працях інших науковців [5—7]. Так, за результатами вивчення методу порівняння ЕКГ у 12 стандартних відведеннях дійшли висновку про те, що при виявленні 16 збігів на двох ЕКГ можна з певною достовірністю приймати рішення про належність їх тій самій особі [7]. Американські криміналісти навіть рекомендували внести ЕКГ до таких ознак ідентифікації особи, які не можна підробити [8].

Як свідчать попередні дослідження, індивідуальні особливості ЕКГ наочніше проявляються при відображенні у фазовому просторі ніж при їх традиційному уявленні в часовій області [9].

Метою статті є обґрунтування розробки програмно-технічного комплексу для подальшого вивчення можливостей фазового портрета ЕКГ як засобу ідентифікації особи.

**ЕКГ як засіб ідентифікації особи.** Як відомо, ЕКГ — це запис сигналу з інформацією про зміни в часі сумарного електричного потенціалу, що виникає в серцевому м'язі за рахунок руху іонів через м'язову мембрану (рис. 1).

Для подальшого дослідження доцільно стисло охарактеризувати інформативні фрагменти ЕКГ [10]. Зубець *P* утворюється внаслідок збудження передсердь. Сегмент *P–Q* зазвичай розташовується на нульовій лінії (ізолінії) і відповідає часу проходження збудження по передсердно-шлуночковому з'єднанню. Комплекс *QRS* відображає складний процес збудження шлуночків, а інтервал *S–T* — процес реполяризації шлуночків. Інтервал *T–P* від закінчення зубця *T* і до *P* початку зубця наступного циклу ЕКГ відповідає діастолі (розслабленню) серця.

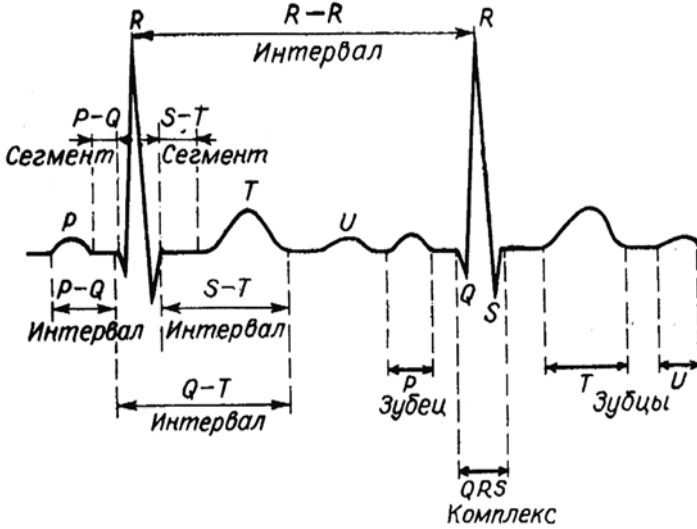


Рис. 1. Фрагменти нормальної ЕКГ в одному відведенні

На сьогодні відомі різні підходи до біометричної ідентифікації за ЕКГ, зокрема нейронні мережі [11], метод дискретного вейвлет-перетворення [12], аналіз сигналу в частотній області [13], калмановська фільтрація [14], метод статистичного розпізнавання [15] та інші математичні методи оброблення сигналу.

З метою підвищення достовірності результатів ідентифікації особи вбачається, що реєстрація та оброблення ЕКГ здійснюються у кількох відведеннях, зокрема у 12-ти традиційних відведеннях [5; 16], хоча реєстрація сигналу одночасно у кількох відведеннях є доволі незручною і потребує певної кваліфікації при розташуванні електродів на тілі людини, що є суттєвим недоліком цих методів ідентифікації та обмежує їх практичне застосування.

Саме тому Т. Шен і В. Томпкінс запропонували практичніший спосіб, який передбачає реєстрацію ЕКГ лише в одному відведенні, зокрема у першому стандартному (ліва та права рука), та ідентифікацію людини за сукупністю амплітудно-часових характеристик окремих фрагментів сигналу  $x(t)$ , який реєструється за певний інтервал часу [17]. Проте цей спосіб має відносно невелику достовірність результатів ідентифікації за рахунок помилок, зумовлених можливими збігами сукупності амплітудно-часових характеристик ЕКГ для різних осіб. До того ж доволі складно на основі додаткового візуального аналізу оцінювати відмінності часового сигналу  $x(t)$  та коригувати невірні рішення.

Для уникнення зазначених вище недоліків доцільно розглянути інший спосіб ідентифікації особи за двовимірними або тривимірними графічними образами: фазові портрети одноканальної ЕКГ та використання індивідуальних характеристик сформованих фазових портретів для ідентифікації особистості [18; 19].

**Фазовий портрет ЕКГ як засіб ідентифікації особи.** Для побудови фазового портрета ЕКГ у кожній точці одновимірного дискретно заданого сигналу  $x(t)$ , що несе інформацію про електричну активність серця, чисельними методами отримуємо першу  $\dot{x}(t)$  та другу  $\ddot{x}(t)$  похідні сигналу  $x(t)$ . Сформуємо двовимірні фазові портрети в координатах  $x(t), \dot{x}(t)$  або тривимірні фазові портрети в координатах  $x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t)$  [18].

Сформувати фазовий портрет сигналу  $x(t)$  також можна на основі визначення затриманих значень сигналу  $x(t-\tau)$  та  $x(t-2\tau)$ , де  $\tau$  — певна затримка у часі. Далі формують двовимірні фазові портрети в координатах  $x(t)$ ,  $x(t-\tau)$  або тривимірні фазові портрети в координатах  $x(t)$ ,  $x(t-\tau)$ ,  $x(t-2\tau)$ .

Для ідентифікації особи використовують сукупність індивідуальних характеристик сформованих фазових портретів. Зрозуміло, що відмінність сигналів  $x(t)$  зумовлює і відмінність фазових портретів, сформованих за різними сигналами. Але, як видно з рис. 2, на якому наведено 4 різних сигнали ЕКГ, відмінність фазових портретів є більш вираженою, ніж відмінність сигналів, на основі яких їх сформовано.

Кожний із фазових портретів має характерні особливості, які легко визна-

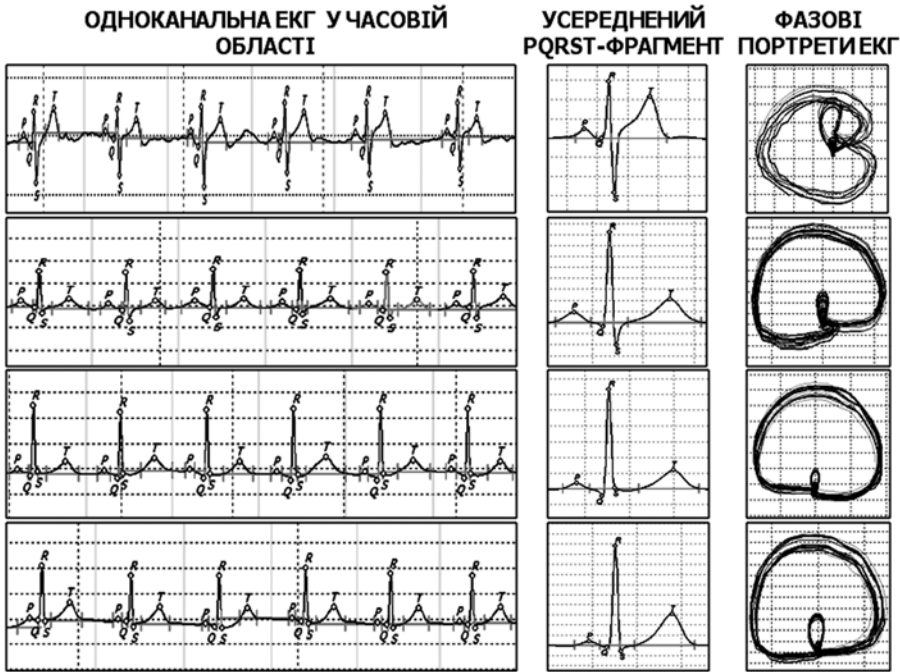


Рис. 2. Порівняння ЕКГ у часовій області з фазовими портретами

чають навіть під час візуального аналізу (наприклад, такі як кут орієнтації фазового портрета, кількість, розмір і форма петель тощо).

Усі ці особливості характеризують певний сигнал  $x(t)$ , що несе інформацію про електричну активність серця певної особи. При цьому одні двовимірні фазові портрети різних людей суттєво відрізняються за наведеними ознаками, а інші мають менш виражені відмінності (рис. 3).

Однак, як свідчать експериментальні дослідження, навіть якщо двовимірні фазові портрети ЕКГ практично збігаються (рис. 4, ліворуч), при переході у тривимірний фазовий простір з координатами  $x(t)$ ,  $\dot{x}(t)$ ,  $\ddot{x}(t)$  вдається виявити певні розбіжності нібито тотожних фазових портретів при певних кутах проектування (рис. 5, праворуч).

Проведені дослідження також засвідчили, що фазові портрети зберігали свої індивідуальні особливості упродовж достатньо великого періоду спостережень (рис. 5).

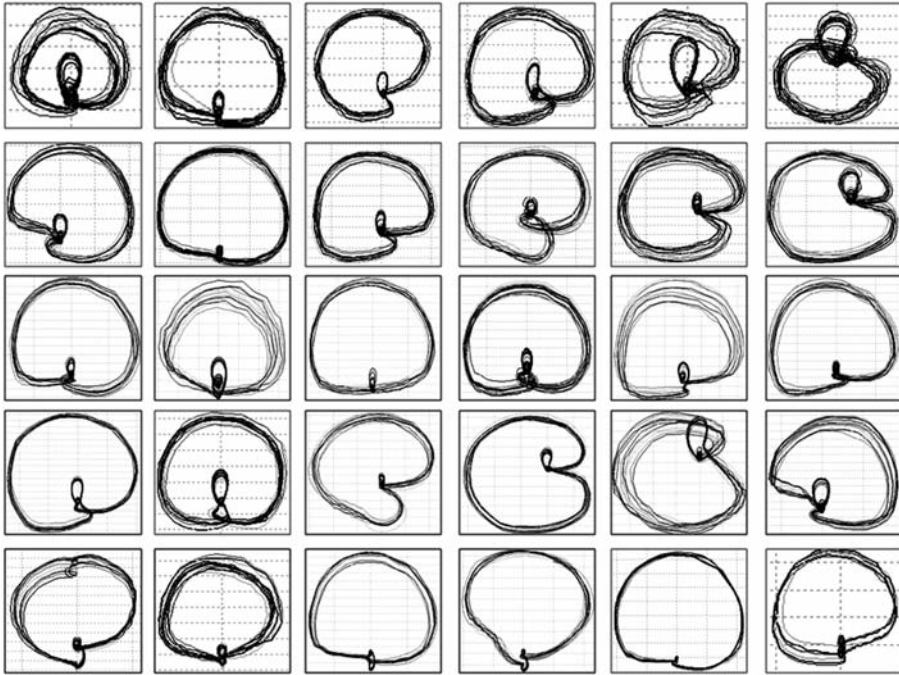


Рис. 3. Приклади фазових портретів 30 різних осіб

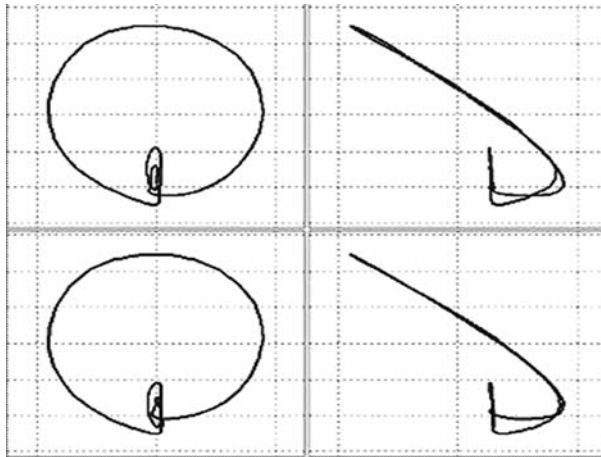


Рис. 4. Фазові портрети у двовимірному та тривимірному просторах

Наведені властивості фазових портретів дозволяють використовувати їх як біометричні характеристики певної особи.

Зрозуміло, що у разі фізичних або емоційних навантажень відбуваються зміни певних фрагментів фазових траєкторій. Тому для вирішення завдань ідентифікації потрібно аналізувати найбільш стабільний фрагмент фазового портрета, яким, як свідчать експериментальні дослідження, є фрагмент, що відповідає шлунковому комплексу *QRS*.

**Програмно-технічний комплекс для ідентифікації особи за фазовим портретом ЕКГ.** Для автоматизації процесу порівняння фазових портретів потріб-

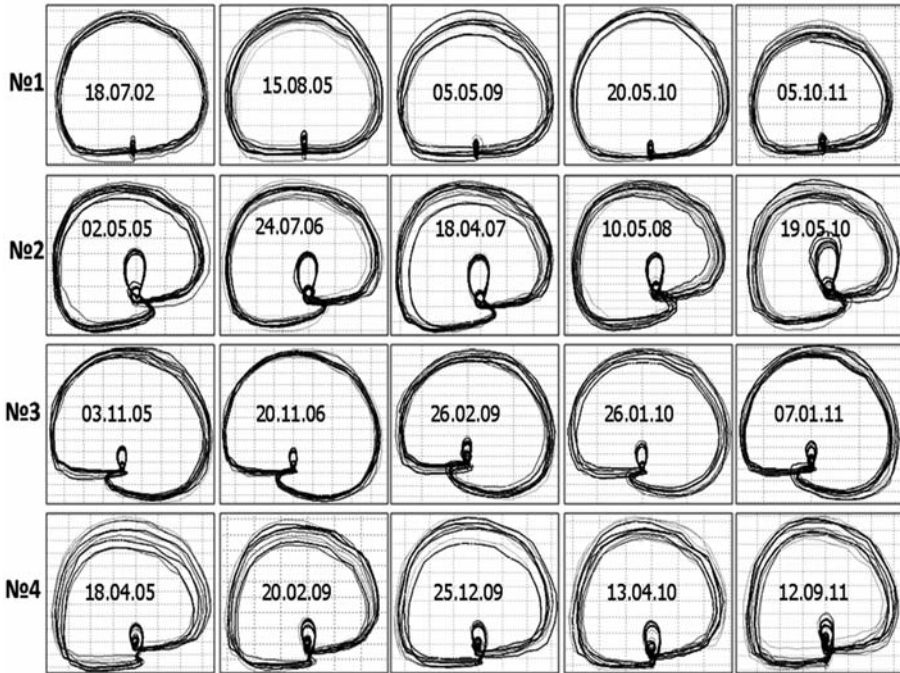


Рис. 5. Фазові портрети 4 осіб упродовж певного періоду спостережень

на система, яка сприятиме експерту у вирішенні завдання щодо належності фазового портрета ЕКГ [20].

Реєстрація ЕКГ проводиться за допомогою спеціального мікропроцесорного сенсора з пальцевими електродами (рис. 6), який забезпечує введення цифрового сигналу першого стандартного відведення у персональний комп'ютер через стандартний USB інтерфейс [21].



Рис. 6. Пристрій для реєстрації ЕКГ з пальцевими електродами

Далі сигнал опрацьовується за допомогою комп'ютерної програми «Ідентифікація особи», тобто виконується побудова фазового портрета, його аналіз, порівняння та зберігання у базі даних.

Система дозволяє вирішити завдання верифікації: на основі порівняння наданого їй фазового портрета та записаних у базі даних фазових портретів цього користувача дійти певного висновку про їх тотожність. На сьогодні тестова база містить 480 фазових портретів ЕКГ різних людей. Зрозуміло, що процес накопичення даних може бути продовжено.

Як приклад, на рис. 7 наведено фазові портрети, які не збігаються (тобто людина не є тією особою, за яку себе видає), а на рисунку 8 — фазові портрети, які збігаються і підтверджують достовірність верифікації.

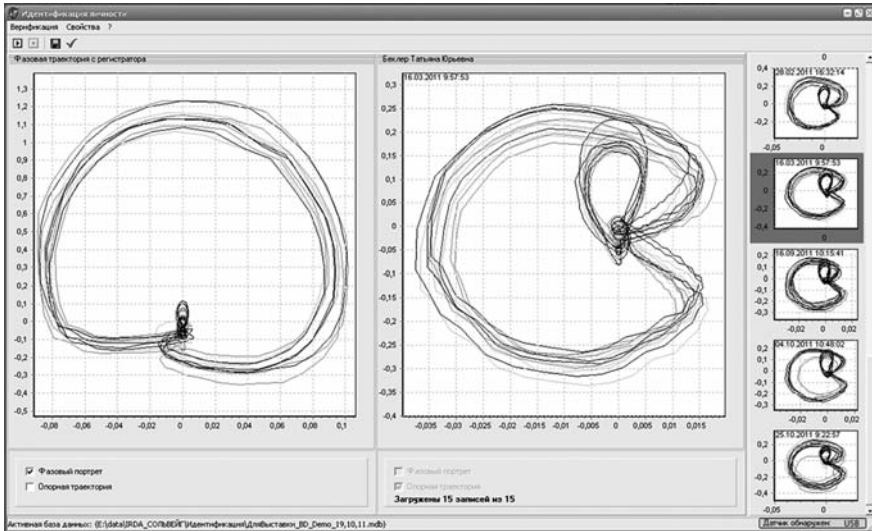


Рис. 7. Вигляд інтерфейсу верифікації — фазові портрети не збігаються

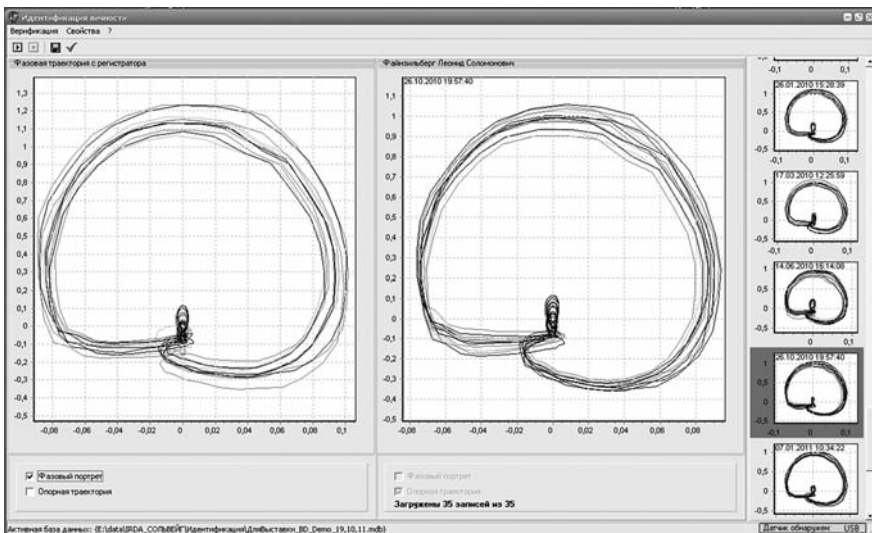


Рис. 8. Вигляд інтерфейсу верифікації — фазові портрети збігаються

Отже, з метою підвищення достовірності вирішення завдань ідентифікації доцільно поєднати кілька біометричних характеристик людини. Для цього можна використовувати фазовий портрет сигналу, що несе інформацію про електричну активність серця — ЕКГ. Цей сигнал є унікальним для кожної людини і, на відміну від інших біометричних характеристик, його практично неможливо сфальсифікувати. Навіть візуальний аналіз фазових портретів ЕКГ дозволяє легко та наочно провести ідентифікацію особи, а отже, їх можна використовувати як додатковий

біометричний параметр у правоохоронних системах прикордонного і паспортного контролю та імміграційних служб, у системах криміналістичної реєстрації, при проведенні експертиз за участю експертів.

Подальший розвиток програмно-технічного комплексу для ідентифікації особи за фазовим портретом ЕКГ слід планувати у кількох напрямках:

- накопичення бази даних фазових портретів у різні проміжки часу;
- проведення масштабних експериментів для виявлення характерних ознак фазових портретів залежно від фізичного та психологічного станів людини;
- вдосконалення програмних засобів комплексу для полегшення роботи експертів.

### Список використаної літератури

1. Закон України від 20 листопада 2012 року № 5492-VI «Про Єдиний державний демографічний реєстр та документи, що підтверджують громадянство України, посвідчують особу чи її спеціальний статус» // Відомості Верховної Ради України . — 2013. — № 51. — С. 2733. — Ст. 716.

2. Татарченко Н.В. Биометрическая идентификация в интегрированных системах безопасности / Н.В. Татарченко, С.В. Тимошенко // Специальная техника. — 2002. — № 2. — С. 2—7.

3. Fainzilberg L.S. Computer Analysis and Recognition of Cognitive Phase Space Electro-Cardio Graphic Image / L.S. Fainzilberg, T.P. Potapova // Proceeding of the 6th International Conference On Computer analysis of Images and Patterns: (CAIP'95). — Prague. — 1995. — P. 668—673.

4. Скурихин В.И. Когнитивная компьютерная графика как средство интерпретации биоциклических процессов / Скурихин В.И., Файнзильберг Л.С., Потапова Т.П. // Управляющие системы и машины. — 1995. — № 4/5. — С. 3—10.

5. ECG analysis: a new approach in human identification / [Biel L., Pettersson O., Philipson L., Wide P.] // IEEE Trans on Instrumentation and Measurement. — 2001. — № 50 (3). — P. 808 — 812.

6. Немирко А.П. Биометрическая идентификация личности по электрокардиограмме / А.П. Немирко, Т.С. Луговая // Математические методы распознавания образов : сбор. докл. XII Всерос. конф. — М. : ООО «Макс Прес». — 2005. — С. 387—389.

7. В Калуге разработали новый метод идентификации личности [Электронный ресурс] / Интернет-издание «Время регионов». — Режим доступа : [http://www.regtime.ru/owa/rt/rt\\_lenta.html?а\\_id=8556&c\\_id=49](http://www.regtime.ru/owa/rt/rt_lenta.html?а_id=8556&c_id=49).

8. Желание снять ЭКГ — не блажь [Электронный ресурс] / Электронный сборник статей и публикаций газеты «Версия». — 06.04.2006. — Режим доступа : <http://versiasovsek.ru/material.php?4222>.

9. Файнзильберг Л.С. Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика / Л.С. Файнзильберг. — К. : Наукова думка, 2008. — С. 287—295.

10. Мурашко В.В. Электрокардиография : учеб. пособ. / В.В. Мурашко, А.В. Струтынский. — М. : Медицина, 1991. — 288 с.

11. Boumbarov O. ECG personal identification in subspaces using radial basis neural networks / Boumbarov O., Velchev Y., Sokolov S. // IEEE Int. Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems. — 2009. — P. 446—451.

12. Chiu C. A novel personal identity verification approach using a discrete wavelet transform of the ECG signal / Chiu C., Chuang C., Hsu C. // International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering. — 2008. — P. 201—206.

13. ECG biometrics: A robust short-time frequency analysis / [Odinaka I., Lai P.-H., Kaplan A.D. and others] // IEEE International Workshop on Information Forensics and Security. — 2010. — P. 1—6.



14. *Ting C.M.* ECG based personal identification using extended kalman filter / C.M. Ting, S.H. Salleh // 10th International Conference on Information Sciences Signal Processing and their Applications. — 2010. — P. 774—777.
15. *Zhang Z.* A new ECG identification method using Bayes' theorem / Z. Zhang, D. Wei // Proceedings of the IEEE Region 10 Conference (TENCON '06). — Hong Kong, 2006. — P. 1—4.
16. ECG to identify individuals / [Israel S.A., Irvine J.M., Cheng A. and others] // Pattern Recognition. — 2005. — Vol. 38. — № 1. — P. 133—142.
17. *Shen T.W.* One-lead ECG for identity verification / Shen T.W., Tompkins W.J., Hu Y.H. // IEEE Engineering in Medicine and Biology: in Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology 24th Annual Conference and the 2002 Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society (BMES / EMBS). — IEEE, 2002. — Vol. 1. — P. 62—63.
18. Пат. UA105273C2 Україна, МПК G 06K 9/66, A 61B 5/0402, A 61B 5/0205, A 61B 5/117. Спосіб ідентифікації особистості за електрокардіограмою / Файнзильберг Л.С. ; власник — Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем. — № 105273; заявл. 27.08.12; опубл. 25.04.0214. — Бюл. № 8.
19. *Файнзильберг Л.С.* Индивидуальные особенности фазового портрета ЭКГ как средство идентификации личности / Л.С. Файнзильберг, Н.А. Семергей // Автоматика-2005 : матер. 12 міжн. конф. з автоматичного управління : в 3 т. (Харків, 30 трав. — 3 черв. 2005 р.). — Харків : НТУ «ХПИ», 2005. — Т. 1. — С. 99.
20. *Корчинская З.А.* Система поддержки принятия решений при идентификации личности по фазовому портрету ЭКГ / З.А. Корчинская, Л.С. Файнзильберг // Системы поддержки принятия решений. Теория и практика. СППР : матер. 7 дистан. науч.-прак. конф. — К. : ИПММС НАН Украины, 2011. — С. 119—122.
21. *Портативный* электрокардиограф с пальцевыми электродами ФАЗАГРАФ® [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://fazagraf.irtc.org.ua>.