РАДІОЕЛЕКТРОНІКА БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 621.3.083; 612.84

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА БАГАТОРІВНЕВИМ ДИСКРЕТНИМ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯМ ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛУ

Притула А.О., магістрантка; Шарпан О.Б., д.т.н., професор;
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

Вступ

Суттєве діагностичне значення характеристик пульсового сигналу, підтверджене багатостолітнім досвідом східної медицини, створює передумови для виявлення інформативних ознак цього сигналу методами сучасних інструментальних та інформаційних технологій. Дослідження параметрів пульсової хвилі, які відображають функціональні відхилення організму, дають цінну інформацію про стан окремих органів і систем людини, про різні патології, дозволяють здійснювати прогноз на ранніх і прихованих стадіях захворювання, прогноз перебігу хвороби при лікарських та операційних діях [1, 2]. Вони також дозволяють ідентифікувати характер і вираженість різних психофізіологічних станів людини, таких як емоційна і операційна напруженості, втома, стрес тощо [3]. В цьому сенсі нові діагностичні можливості забезпечує оцінка спектральних параметрів пульсової хвилі [4].

Основним математичним інструментом обробки та дослідження спектральної (частотної) структури пульсових сигналів є перетворення Фур'є, яке припускає стаціонарність сигналу, що вивчається. Пульсова хвиля є нестаціонарним квазіперіодичним процесом, частотний склад і основні показники якого залежать від часу і можуть змінюватися в межах часу спостереження. Через це застосування поширених методів обробки пульсових сигналів, таких як амплітудно-часовий, спектральний, статистичний аналізи, не завжді бувають достатніми у разі дослідження локальних особливостей сигналу.

На відміну від перетворення Фур'є, вейвлет перетворення забузпечує двумірну розгортку, при цьому масштаб і координата розглядаються як незалежні змінні, що дає можливість аналізу сигналів відразу в двох просторах – масштабному та часовому. Результати вейвлет-аналізу заключають в собі не тільки інформацію про розподіл енергії сигналу за частотними складовими, а й відомості про часові координати, на яких проявляються ті чи інші частотні складові [5,6].

Постановка задачі

Враховуючи це, актуальним є дослідження чутливості параметрів вейвлет-перетворення пульсового сигналу для реалізації сучасних методик визначення функціонального стану органів і систем людини з метою подальшого розвитку методів пульсової діагностики. Метою статті є викладення методики і результатів цих досліджень з використанням дискретного багаторівневого вейвлет-перетворення пульсового сигналу.

Метод і методика досліджень

Розрізняють неперервне та дискретне вейвлет-перетворення. Кожен з підходів має свої особливості у разі аналізу пульсових сигналів.

Неперервне вейвлет-перетворення (НВП) проводиться шляхом згортки аналізованої функції *f(t)* з двухпараметричною вейвлет-функцією $\psi_{a,b}$, що обчислюється за формулою:

$$W(a,b) = \left\langle f(t), \psi_{a,b}(t) \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t)dt, a,b \in R, a \neq 0$$

де < > - оператор скалярного множення;

*- оператор комплексного спряження.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right),$$

де a – масштабний множник, що відповідає за ширину материнської вейвлет-функції $\psi(t)$;

b – параметр, що визначає зсув по осі часу t.

Відновлення сигналу виконується по формулі зворотнього неперервного вейвлет-перетворення:

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int W(a,b)\psi_{a,b}(t) \frac{dadb}{a^2},$$

де C_ψ - константа, яка залежить від вейвлета, що використовується.

Дискретне вейвлет-перетворення (ДВП). В цьому разі відбуваються операції над дискретними значенями коефіцієнта *a* та параметра зсуву *b*, які задаються, як правило, у вигляді степеневої функції, що дозволяє уникнути збиткової кількості операцій та обчислених коефіцієнтів, характерних для НВП.

При багаторівневому дискретному вейвлет-перетворенні сигналу визначаються коефіцієнти апроксимації *cA*, які представляють згладжений сигнал для контурного аналізу, і коефіцієнти деталізації *cD*, які описують високочастотні флуктуації сигналу. Для аналізу пульсового сигналу на різних масштабах використовується деревоподібне з'єднання фільтрів нижніх і верхніх частот з різними частотами зрізу. Вектор вейвлет-коефіцієнтів отримується за допомогою математичної операції згортки досліджуваного

пульсового сигналу *S(t)* → *f(t)* з передаточною функцією фільтра нижніх частот для визначення коефіцієнтів апроксимації *cA1* і з передаточною функцією фільтра високих частот для визначення коефіцієнтів деталізації *cD1*. На наступному кроці розкладаються коефіцієнти апроксимації *cA1* на дві частини, з отриманням *cA2* та *cD2* і т.д. до необхідного рівня розкладу.

Таким чином, у разі відновлення пульсовий сигнал *S(t)* представляє собою суму апроксимуючої складової, що визначається за коефіцієнтами апроксимації *N*-го рівня вейвлет-розкладу (a_N) і всіх деталізуючих складових, які визначаються за коефіцієнтами деталізації рівнів ДВП з 1 по *N* (d_N, d_{N-1}, $...d_1$):

$$S = a_N + d_N + d_{N-1} + \cdots + d_1$$

Неперервні вейвлети дають більш наглядне представлення результатів аналізу у вигляді поверхні вейвлет-коефіцієнтів за неперервним змінним. Базиси на основі неперервних вейвлетів, як правило, не є строго ортонормованими, так як елементи базиса нескінченно диференційовані та експоненціально спадають до нескінченості. У дискретних вейвлетів ці проблеми легко знімаються, що забезпечує більш точну реконструкцію сигналів. Також дискретне вейвлет-перетворення дає змогу отримати результати аналізу у вигляді числових даних.

Багаторівневе дискретне вейвлет-перетворення пульсового сигналу. Для оцінки впливу зовнішніх збуджуючих факторів на функціональний стан людини було досліджено, як відображається на параметрах вейвлет-перетворення пульсової хвилі вплив різних тестів. Нижче, як приклади, наведені результати дослідження впливу куріння на людину, що курить рідко (Р1), і на людину, що курить часто (Р2). Для цього були зареєстровані пульсові сигнали в стані «до куріння» (стан I), в стані «відразу після куріння» (стан II) та в стані «через 5 хв. після куріння» (стан III) для обох людей.

Для дослідження пульсових сигналів був виконаний їх розклад до рівня N=3 за допомогою вейвлета Добеши db4. Вейвлет Добеши db4 має центральну частоту Fr=0,7143 Гц. Так як Δt=1/50, то центральна частота вейвлета, що використовується для першого рівня розкладу, становить Fr1=0,7143*50=35,715 Гц. Для другого рівня розкладу частота вейвлета буде в два рази меньшою, Fr1=17,86 Гц, а для третього рівня розкладу — Fr1=8,93 Гц. Вейвлет-коефіцієнти деталізації 1, 2 та 3-го рівнів розкладу (cD1, cD2, cD3) відображають характеристики пульсового сигналу на вказаних частотах. На рис. 1 представлені ці коефіцієнти для обох людей в кожному їз трьох станів.

Видно, що спостерігається візуальна різниця між графіками коефіцієтнів деталізації обох людей в різних станах; особливо чітко вона проявляється при переході зі стану I в стан II як для Р1 так і для Р2. Зміни відбуваються для коефіцієнтів всіх трьох рівнів розкладу, спостерігається зрос-

тання їх амплітуди та амплітудної модуляції. При переході зі стану II в стан III спостерігається зменшення амплітуди коефіцієнтів, що можна трактувати як повернення до вихідного стану. Отже, за виглядом коефіцієтів деталізації можна визначити наявність впливу певного фактору (в даному випадку куріння) на функціональний стан людини.

Для більш детального дослідження цього впливу було проведене відновлення пульсового сигналу за коефіцієнтами деталізації окремо для кожного з рівнів розкладу, в результаті чого були отримані компоненти сигналу ScD1, ScD2 та ScD3 для 1, 2 та 3-го рівнів відповідно. Амплітудні спектри їх перетворень Фур'є зображені на рис. 2.

Для P1 у разі переходу зі стану I в стан II спостерігається зменшення ширини спектра, значна його розмитість і зменшення амплітуди для всіх трьох компонентів сигналу та поява низькочастотних складових для компонентів сигналу першого та третього рівнів розкладу. При переході зі стану II в стан III ширина спектра збільшується до такої як в стані I і збільшується амплітуда, а також відбувається зменшення рівня низькочастотних складових для компоненту сигналу третього рівня розкладу. Розмитість спектра залишається.

У випадку P2 розмитість спектра всіх трьох компонентів сигналу є характерною для стану I, вона зменшується при переході в стан II та стан III. А також при переході зі стану I в стан II і зі стану II в стан III відбувається зростання амплітуди та збільшення ширини спектра.

Отже, вплив куріння на функціональний стан для людини, що курить рідко і для людини, що курить часто має індивідуально різний характер.

Для кількісної оцінки впливу куріння досліджувалось середньоквадратичне відхилення (СКВ) вейвлет-коефіцієнтів деталізації всіх трьох рівнів розкладу. Відповідні значення наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення СКВ коефіцієнтів деталізації

		Людина, що курить рідко (P1)			Людина, що курить часто (P2)		
Вейвлет-коефіцієнти		cD1	cD2	cD3	cD1	cD2	cD3
Стан I (A1)		13,4139	39,9286	86,1855	2,8883	12,8006	31,1335
Стан II (A2)		19,9662	61,3931	95,1485	2,4246	13,6978	42,2977
Стан III (A3)		20,3411	58,3284	93,3859	4,5575	19,798	59,2109
A2/A1		1,488	1,54	1,1	0,84	1,07	1,36
A3/A1		1,5	1,46	1,08	1,58	1,57	1,9
A2/A3	0,98	1,05	1,02	0,53	0,69	0,71	

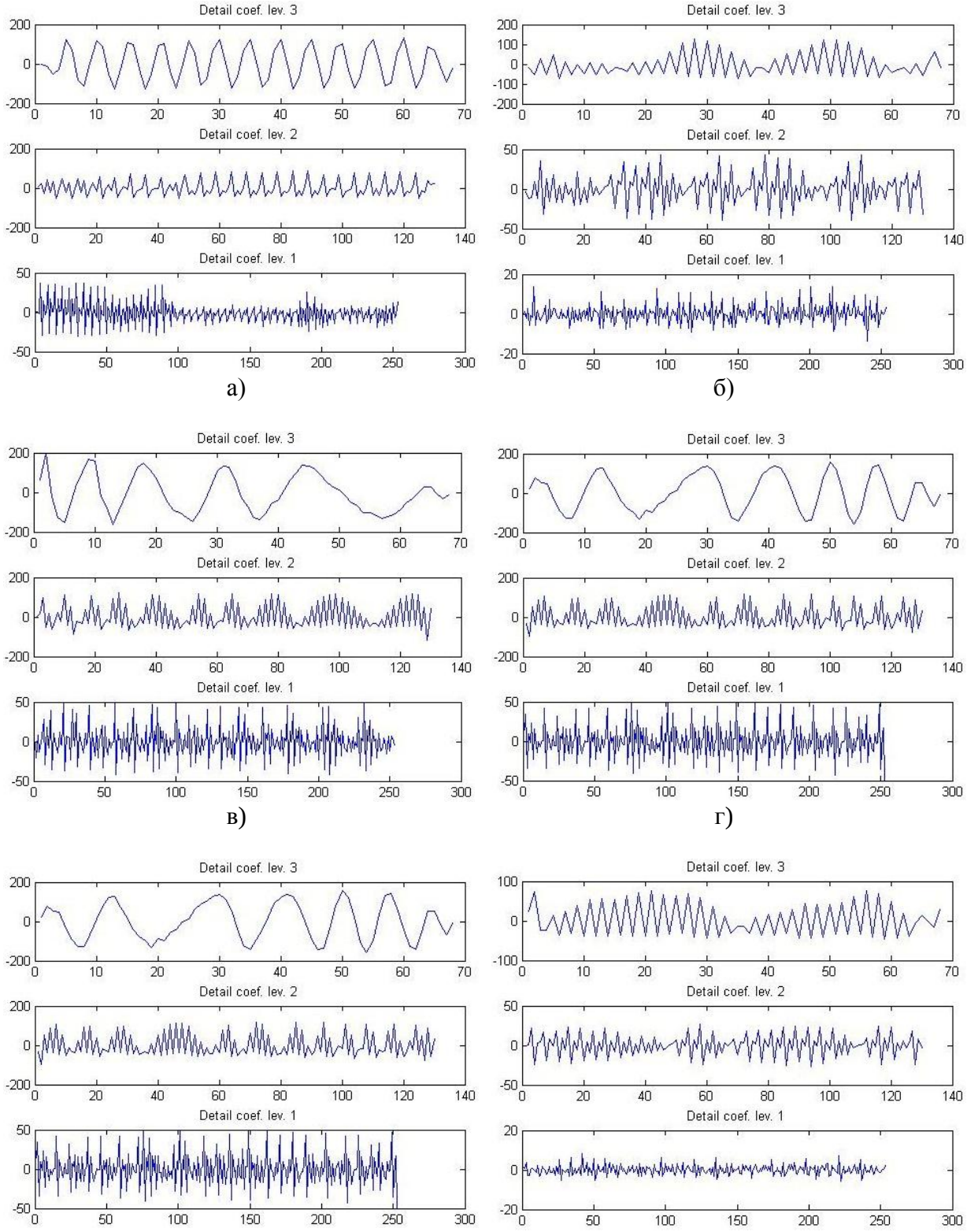

Рис.1 Коефіцієнти деталізації 1, 2 та 3-го рівнів розкладу для Р1(а, в, д) і для Р2(б, г, е) у стані І (а, б), стані ІІ (в, г) та стані ІІІ(д, е)

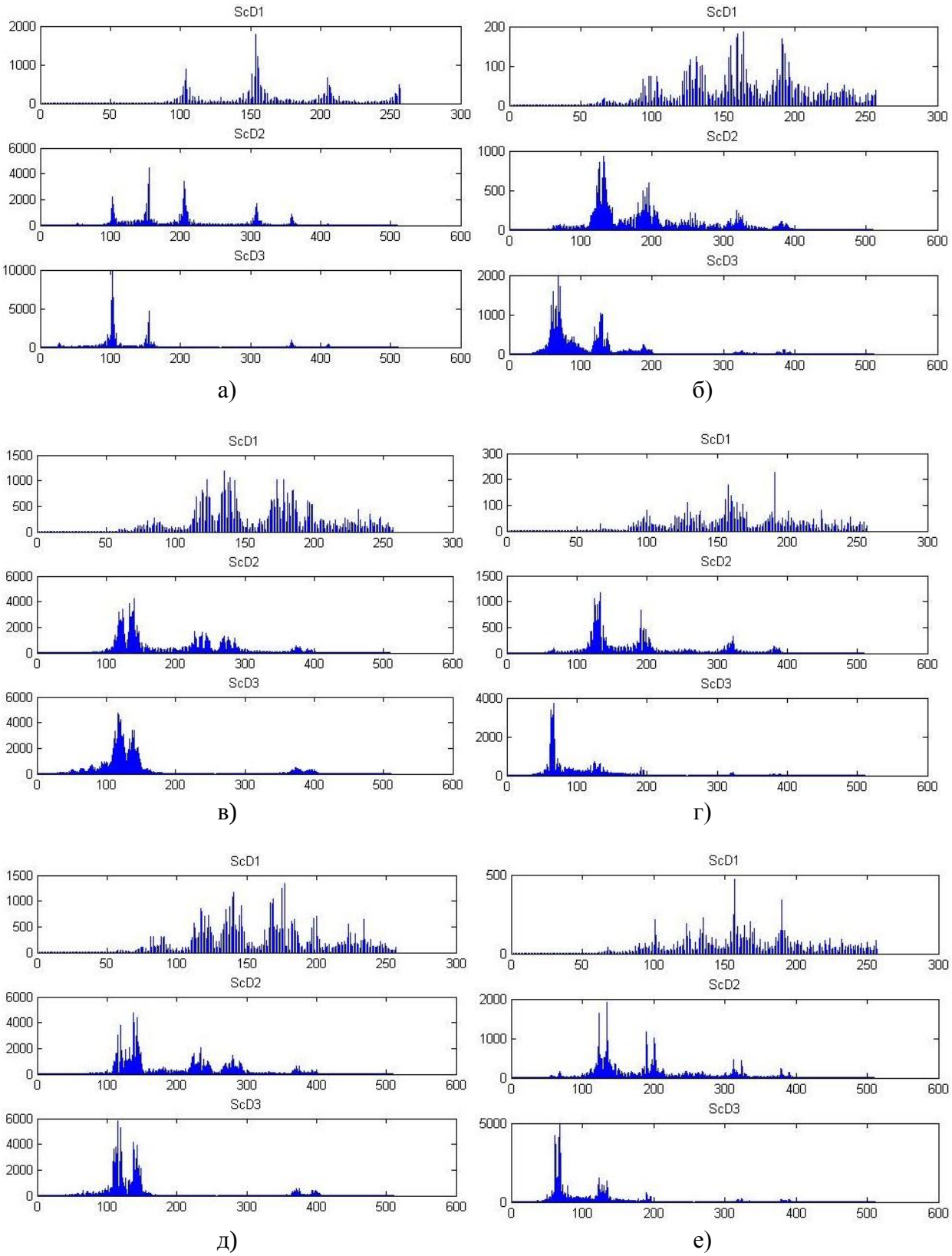

Рис.2 Амплітудні спектри компонентів пульсового сигналу 1, 2 та 3-го рівнів розкладу для Р1 (а, в, г) та для Р2 (б, г, е) в стані I (а, б), стані II (в, г) і стані III (д, е)

З таблиці видно, що СКВ для Р1 має більше значення ніж для Р2. Також, при збільшенні рівня розкладу СКВ відповідних коефіцієнтів збільшується. Для людини, що курить рідко, при переході зі стану І в стан ІІ СКВ збільшується (див. А2/А1), а при переході зі стану ІІ в стан ІІІ зменшується (А2/А3), тобто відбувається повернення до вихідного стану. Для людини, що курить часто, СКВ зростає як для переходу зі стану І в стан ІІ так і для переходу зі стану ІІ в стан ІІІ (А2/А1, А2/А3). Тобто зміни СКВ для Р1 та Р2 мають різний характер.

Таким чином, за допомогою СКВ вейвлет-коефіцієнтів можна кількісно характеризувати вплив певного фактору на функціональний стан людини. А саме, відношення СКВ в стані ІІІ до СКВ в стані І (А3/А1) у порівнянні з відношенням СКВ в стані ІІ до СКВ в стані І (А2/А1) може характеризувати як швидко і в якій мірі відбувається відновлення початкового функціонального стану після збудження зовнішнім фактором. Також А2/А1 може характеризувати степінь впливу збуджуючого фактору на стан людини.

Висновки

Характер коефіцієтів деталізації вейвлет-перетворення пульсового сигналу дає можливість якісно визначити вплив певного тестового фактору на функціональний стан людини. Значення середньоквадратичного відхилення вейвлет-коефіцієнтів дають змогу кількісно характеризувати вплив цього фактору, а саме, ступінь впливу збуджуючого фактору на динаміку стану людини, як швидко і в якій мірі відбувається відновлення початкового функціонального стану після збудження зовнішнім фактором, індентифікувати загальні і індивідуальні особисті тенденції зміни стану. Це перспективно для діагностики звичок людини, особливостей її існування в умовах навколишнього середовища та прогнозування індивідуальної реакції організму на зовнішній вплив.

Література

1. Забирник А. В., Култаев А. Ю. Аппаратная пульсовая диагностика: теория и практика. — Х.: Новое слово, 2008. — 116с.

2. Десова А.А., Брязгунов И.П., Кизева А.Г., Виноградова Е.П. Особености формы и ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии при артериальной гипертензии в детском и подростковом возрасте// Биомедицинские технологи и радиоэлектроника. 2006. — №1-2. С. 59 — 66.

3. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. – УФН. 1996. — т.166. — №11.

4. Бороноев В. В., Дудин С. А. Критерий оценки функционального состояния внутренних органов по параметрам пульса // Измерительная техника. 1997. — №12. — С.48 — 50.

5. Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов. — СПб.: 1999.

6. Бороноев В. В., Лебединцева И. В. Особености вейвлет-образов пульсовых сигналов при нарушении функционирования регулирующих систем организма // Успехи современной радиоэлектроники. — 2008. — № 2. — С. 45—52.

Притула А.О., Шарпан О. Б. ***Визначення функціонального стану людини за багаторівневим дискретним вейвлет-перетворенням пульсового сигналу.*** *Проаналізовані можливості багаторівневого дискретного вейвлет-перетворення пульсових коливань для оцінки впливу тестових факторів на функціональний стан людини. Встановлено, що характер вейвлет-коефіцієнтів пульсового сигналу та значення середньоквадратичного їх відхилення дають можливість якісно і кількісно визначити вплив певного тестового фактору на функціональний стан людини, індентифікувати загальні і індивідуально різні для окремих людей тенденції його змін. Це перспективно для діагностики впливу звичок людини, особливостей її існування в умовах навколишнього середовища та прогнозування індивідуальної реакції організму на зовнішній вплив.*

Ключові слова*: функціональний стан людини, пульсовий сигнал, дискретне вейвлет-перетворення.*

Притула А.А., Шарпан О. Б. ***Определение функционального состояния человека многоуровневым дискретным вейвлет-преобразованием пульсового сигнала.*** *Проанализованы возможности многоуровневого дискретного вейвлет-преобразования пульсовых колебаний для оценки влияния тестовых факторов на функциональное состояние человека. Установлено, что характер вейвлет-коэффициентов пульсового сигнала и значения их среднеквадратического отклонения дают возможность качественно и количественно оценивать влияние определенного тестового фактора на функциональное состояние человека, идентифицировать общие и индивидуально разные для отдельных людей тенденции его изменений. Это перспективно для диагностики влияния привычек человека, особенностей его существования в условиях окружающей среды и прогнозирования индивидуальной реакции организма на внешнее влияние.*

Ключевые слова*: функциональное состояние человека, пульсовой сигнал, дискретное вейвлет-преобразование.*

Pritula A.A., Sharpan O.B. ***Human functional state definition by the multilevel discrete wavelet transformation of a pulse wave biosignal****. The facilities of multilevel discrete wavelet transform of pulse wave biosignal are analysed to estimate the influence of testing factors on the human functional state. It is ascertained, that the nature of wavelet coefficient of a pulse wave biosignal and the value of their mean-square deviation makes possible for us to assess qualitatively and quantitatively influence of a definite testing factor to the functional state of a person and to identify general and personal tendency changes for particular person. It is perspective for the diagnostic of the personal`s habits and for a prediction of a personal reaction to the external influence.*

Keywords*: functional state, pulse wave, discrete wavelet transformation.*