

# СИСТЕМА ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ХВИЛЬ ГЕМОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

**А.С. Жульова**

Кафедра інформаційних технологій та медичних систем\*  
E-mail: an4ous@bigmir.net

**С.О. Коваленко**

Доктор біологічних наук, доцент\*  
Кафедра анатомії та фізіології людини і тварин  
Контактний тел.: (0472)454423  
E-mail: kovstas@ukr.net

**О.О. Супруненко**

Кандидат технічних наук, доцент  
\*Кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем  
Черкаський національний університет імені Богдана  
Хмельницького  
бул. Шевченка, 81, м. Черкаси, 18031  
Контактний тел.: 066-187-99-50  
E-mail: ra-oks@mail.ru

*Розроблена та описана система оцінки сумарного функціонального стану організму людини за характеристиками коливань гемодинамічних показників. Виділено три фактори, що обумовлюють цю сумарну оцінку та визначена вага цих факторів. Представлений опис АІС функціонального стану людини*

*Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, медична кібернетика*

*Разработана и описана система оценки суммарного функционального состояния организма человека по характеристикам колебаний гемодинамических показателей. Выделено три фактора, которые обуславливают эту суммарную оценку и определен вес этих факторов. Представлено описание АИС функционального состояния человека*

*Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, медицинская кибернетика*

*The estimation system of summary functional state of human organism according to the characteristics of haemodynamic index oscillations was developed and described. Three factors stipulating this summary estimation and their influence were determined. Presented by the description AIS of the functional state of human*

*Key words: heart rhythm variability, medical cybernetics*

## 1. Вступ

Аксіоматичним є положення про те, що прогрес у біологічній науці та медицині багато в чому визначається застосуванням нових та вдосконалених існуючих методів дослідження [4]. Останніми роками різко збільшилась кількість досліджень коливань гемодинамічних показників (інтервалу R-R, артеріального тиску, ударного об'єму крові) у діапазоні частот 0,003-0,4 Гц, які за думкою багатьох авторів [8, 9, 13] є відображенням протікання регуляторних процесів у організмі.

Разом з цим здорові суб'єкти мають суттєві міжіндивідуальні відмінності характеристик регуляторних ритмів гемодинаміки, причини яких невідомі [11, 16]. Виникають труднощі і при інтерпретації рівня та змін окремих показників їх хвильової структури [6]. Одним з напрямків усунення цих проблем є розробка систем комплексної оцінки функціонального стану організму людини та його складових за параметрами відносно повільних коливань гемодинаміки. Так Р.М.Баєвським [2] запропоновано розраху-

нок інтегративного показника ПАРС (показник активності регуляторних систем). Втім цей показник розраховується з невеликої кількості параметрів коливань тільки T-R-R та не включає в себе спектральних характеристик та значень дихальної аритмії.

Тому розробка системи оцінки функціонального стану людини на основі визначення інтегративних характеристик гемодинамічних коливань може підвищити практичну цінність їх визначення та відкрити нові напрямки в превентивній терапії та функціональній діагностиці.

## 2. Методика

Для отримання характеристик коливань гемодинамічних показників проводили вимірювання на 170 здорових молодих чоловіках віком 18-23 роки в умовах наближених до стану основного обміну. Ударний об'єм крові (УОК) визначали за показниками диференціальної реоплетизмограми за формулою, запропонованою W.G. Kubicek [12], тривалість інтервалу

R-R – як відстань між найвищими точками сусідніх зубців R ЕКГ.

Спектральний аналіз часових рядів (beat-to-beat) гемодинамічних показників здійснювали у програмах “Caspico” [А.с. України №11262] та Statistica-5 згідно міжнародних вимог [17]. Визначали потужність коливань t-R-R та УОК у діапазонах 0-0,04 Гц (відповідно VLF та VLFsv), 0,04-0,15 Гц (відповідно LF та LFsv), 0,15-0,4 Гц (відповідно HF та HFsv), 0-0,4 Гц (відповідно TP та TPsv). При цьому проводили корекцію частоти елементів періодограми в залежності від середньої частоти серцевих скорочень [5]. Розраховували статистичні показники коливань t-R-R – індекс напруги Баєвського (IN), середньоквадратичне відхилення кардіоінтервалів (SDNN), квадратний корінь із середнього квадрату відхилень між сусідніми кардіоінтервалами (rMSSD) [2]. Рівень дихальної аритмії визначали за способом С.О. Коваленка, В.О. Цибенка [7] у програмі “Caspico”.

Факторний аналіз проводили за методом головних компонент із врахуванням факторів, власні значення котрих більше одиниці. Вірогідність відмінностей між рівнем показників оцінювали за методом групових порівнянь за t-критерієм Стьюдента.

### 3. Результати та їх обговорення

Аналіз рівня показників коливань гемодинаміки у досліджуваній вибірці показав їх високу міжіндивідуальну девіантність. Так, наприклад, якщо розкид значень t-R-R склав від 614 мс до 1380 мс, а УОК від 38,1 мл до 123,5 мл, то межі розкиду ARRR були від 13 мс до 376 мс, TP – від 241 мс<sup>2</sup> до 24680 мс<sup>2</sup>, TPsv - від 2,9 мл<sup>2</sup> до 452,9 мл<sup>2</sup>. Більш широкі межі норми для параметрів коливань гемодинаміки у порівнянні з відносно сталими її характеристиками пояснюється тим, що ці коливання слугують для підтримання гомеостазу в організмі [3].

Для оцінки того, якими чинниками обумовлюється така міжіндивідуальна різноманітність показників варіабельності серцевого ритму, проводили факторний їх аналіз (табл. 1). Отримано 3 групи факторів з власними значеннями більшими за 1. У першій групі найбільша вага припадає на ARRR, IN, SDNN, rMSSD та TP. Всі ці показники вказують на рівень коливань тривалості інтервалу R-R. Загальноприйнято, що більш високий їх рівень (а в випадку IN – більш низький) обумовлюється більш високими функціональними можливостями організму людини [6]. Другу групу формують показники хвильової структури t-R-R та УОК. Причому, згідно пануючої на цей час концепції [13], більший рівень HF, HFsv, HFnorm та HFnormsv свідчить про збільшення парасимпатичних впливів на серцеву діяльність, а LF та LFsv – симпатичних. У осіб з високим функціональним рівнем у спокої лежачи спостерігається збільшення тонуусу вагусу [15]. Третя група обумовлюється показниками УОК, ARsv, TPsv, що відображають рівень коливань УОК. Хвилі серцевого викиду (особливо їх дихальний компонент) відображають рівень рідини в організмі. Їх оцінка використовується у моніторингу стану людини при анестезії, реанімації, оперативних втручаннях. Більш

висока амплітуда цих коливань свідчить про кращий функціональний стан людини [14].

Таблица 1

Таблиця факторного аналізу показників варіабельності гемодинамічних показників

Показники	Фактор		
	1	2	3
t-RR	0,554	-0,168	0,131
УОК	0,292	-0,111	0,642
ARRR	0,821	0,359	0,205
IN	-0,774	-0,017	-0,058
SDNN	0,868	0,244	0,174
RMSSD	0,900	-0,040	0,150
VLF	-0,659	0,003	0,020
LF	0,293	0,755	-0,002
HF	0,389	-0,727	-0,019
TP	0,799	0,294	0,194
SP	0,177	0,630	0,451
ARsv	0,202	0,140	0,907
VLFsv	-0,262	0,400	-0,006
LFsv	0,318	0,839	-0,045
HFsv	-0,109	-0,891	0,039
TPsv	0,195	-0,053	0,922
HFnorm	0,056	-0,862	-0,027
HFnormsv	-0,231	-0,905	-0,039
Expl.Var	4,886	5,053	2,449
Prp.Totl	0,271	0,281	0,136

Отже результати факторного аналізу дали можливість виявити найбільш інформативні показники варіабельності гемодинаміки як для оцінки окремих характеристик серцево-судинної системи людини. Алгоритм оцінки функціонального стану людини виходячи з цих результатів був наступним.

За даними всіх обстежуваних формували матрицю перцентильних оцінок по кожному з показників коливань гемодинамічних показників.

Знаходили бальну оцінку для кожного фактору як середнє з його найбільш вагомих показників. Для цього по матриці перцентильних оцінок визначали їх бальну оцінку. Бальна оцінка для більшості показників була більшою при його збільшенні, а для IN, LF та LFsv – навпаки.

Загальну оцінку функціонального стану людини (ЗОФС) розраховували за результатами факторного аналізу виходячи з пропорцій загальної варіативності даних, що обумовлюється певним фактором (табл. 1). Бальну оцінку фактору варіативності t-R-R перемножували на 0,394, фактору ваго-симпатичної рівноваги – на 0,408, фактору варіативності УОК – на 0,198. Знаходили суму отриманих значень:

$$F = 0,394 \cdot F_{RR} + 0,408 \cdot F_{HF} + 0,198 \cdot F_{УОК}$$

Будували гістограму розподілу цієї оцінки по індивідуальних даних кожного чоловіка аналізованої вибірки. За цим графіком виділили п'ять діапазонів з кроком у 20% для якісного визначення функціонального стану людини: від 40 до 60 балів – середній рівень; від 20 до 40 балів – нижче середнього; від 60 до 80 балів

– вище середнього; нижче 20 балів та вище 80 балів – відповідно низький та високий рівні. В цілому по вибірці осіб з середнім рівнем функціонального стану було 39,9%, нижче середнього – 31,8%, вище середнього – 24,3%, високим – 2,7% та низьким – 1,4% (табл. 2). Розподіл при цьому близький до нормального.

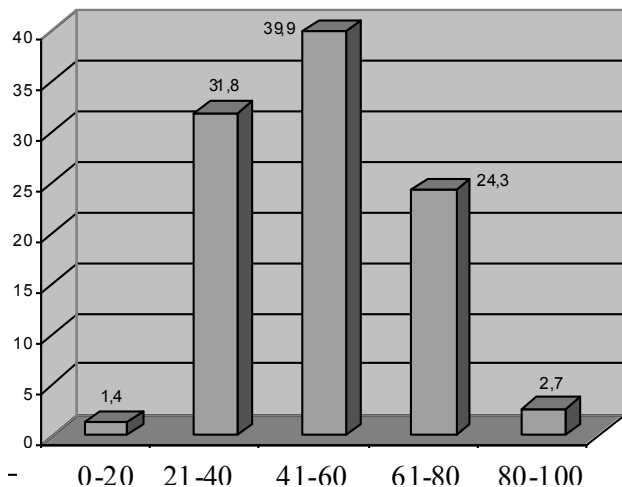


Рис. 1. Гістограма розподілу бальних оцінок основних факторів по даним досліджуваної вибірки.

Таблиця 2

Розподіл здорових молодих чоловіків по рівнях функціонального стану за загальною оцінкою варіативності гемодинамічних показників

Рівень функціонального стану	В цілому по вибірці	Групи		
		I	II	III
Низький	1,4	1,9	0,0	0,0
Нижче середнього	31,8	38,0	23,5	8,7
Середній	39,9	40,7	23,5	47,8
Вище середнього	24,3	17,6	52,9	43,5
Високий	2,7	1,9	0,0	0,0

Примітка. I – не спортсмени, II – спортсмени з переважними навантаженнями на витривалість, III – спортсмени з переважними навантаженнями на силу

Для визначення валідності запропонованої нами оцінки є її порівняння у здорових осіб із різним функціональним станом організму. На думку Н.М. Амосова, Я.А. Бендет [1], функціональний стан організму людини, і серцево-судинної системи зокрема, багато в чому визначає рівень аеробних можливостей. Показано, що високий рівень функціонального стану організму властивий спортсменам не тільки видів на витривалість, але і швидкісно-силових видів [10]. Тому з'ясували ЗОФС у неспортсменів (I група), спортсменів видів спорту з переважанням аеробних навантажень (II група), спортсменів силових видів спорту (III група) (табл. 2). Так пропорція осіб з рівнем функціонального стану вище середнього була найвищою у осіб II групи (52,9%) у порівнянні з III групою (43,5%) та тим більше I групою (17,6%). Рівень нижче середнього був найменше представлений у III групі (8,7%), II групі (23,5%) у порівнянні з I групою (38,0%). Таким чином за якісним визначенням рівня

функціонального стану людини запропонована нами загальна оцінка цілком валідна.

Порівняння кількісних оцінок функціонального стану організму людини за параметрами коливань гемодинамічних показників показало наступне (табл. 3). Оцінка по факторах варіативності t-R-R, УОК, сумарна оцінка у групах спортсменів була вірогідно вищою ніж у не спортсменів. Оцінка вагосимпатичного балансу у всіх трьох групах майже не відрізнялась. Звертає на себе увагу те, що помилка середньої ЗОФС значно менше помилок оцінок окремих факторів. Таким чином застосований алгоритм розрахунку ЗОФС привів до зменшення помилки оцінювання.

Таблиця 3

Оцінки у балах різних факторів функціонального стану у здорових молодих чоловіків (I, n=115), спортсменів з переважними навантаженнями на витривалість (II, n=29) та силу (III, n=27)

Фактори	Групи		
	I	II	III
Варіативність інтервалу R-R	43,57±2,23	54,69±6,06**	59,91±5,77***
Вагосимпатичний баланс	50,60±1,75	51,20±4,79	51,06±4,27
Варіативність УОК	41,23±2,16	56,16±6,40***	63,72±4,88***
Сумарна оцінка	45,97±1,46	53,56±3,90***	57,05±3,37***

Примітка. \*\*-p<0,01; \*\*\*-p<0,001 у порівнянні з першою групою

Технічна реалізація системи оцінки функціонального стану людини здійснювалась у електронних таблицях Excel та у вигляді автоматизованої інформаційної системи зі словесною інтерпретацією результатів, яка написана на мові Java.

За описаною вище методикою була побудована узагальнена модель оцінки функціонального стану людини за характеристиками хвильової структури гемодинамічних показників (рис. 2).

При реалізації автоматизованої інформаційної системи оцінки функціонального стану людини (АІС-ОФСЛ) було виділено клієнтську і серверну частини, які, в свою чергу, поділяються на модулі та компоненти (рис. 3). Клієнтська частина містить засоби введення та відображення інформації, командні режими у вигляді меню та елементи управління системою. Серверна частина приймає запити від клієнта, має модуль обробки отриманих даних, модуль обчислень, базу даних та модуль для взаємодії із нею. Також сервер формує відповідь на запит клієнта або повідомлення про помилку та можливі причини її появи.

У автоматизованій інформаційній системі поточні дані відображаються у вигляді кардіоритмограм та інтервалограм ударного об'єму крові (вкладка «Інтервалограми» на рис. 4). За результатами спектрального аналізу вхідних даних створюються спектрограми (рис. 5) та розраховуються потужності основних показників (представлені справа у табличному вигляді на рис. 5).

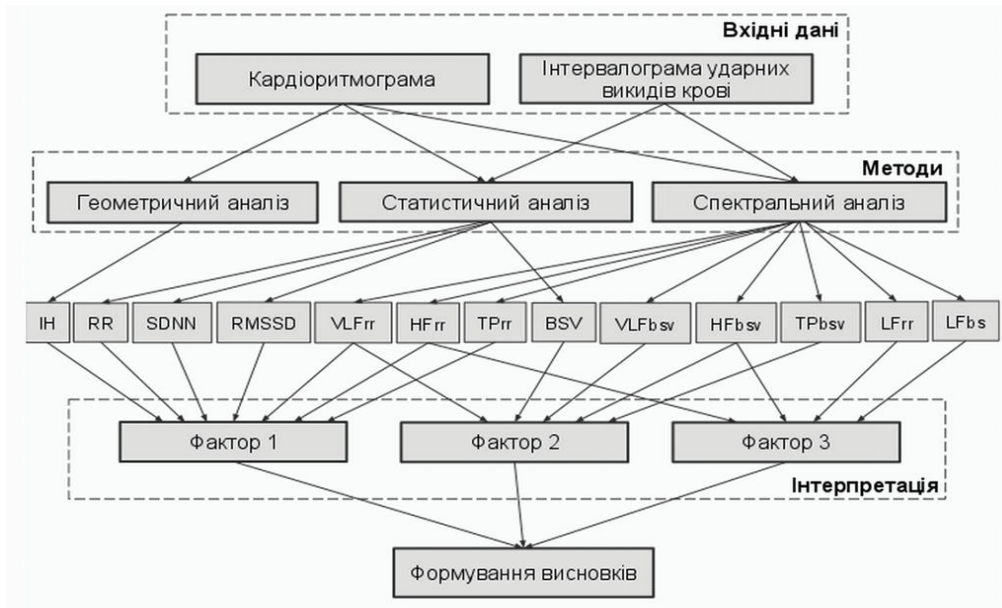


Рис. 2. Узагальнена модель оцінки функціонального стану людини за характеристиками хвильової структури гемодинамічних показників.

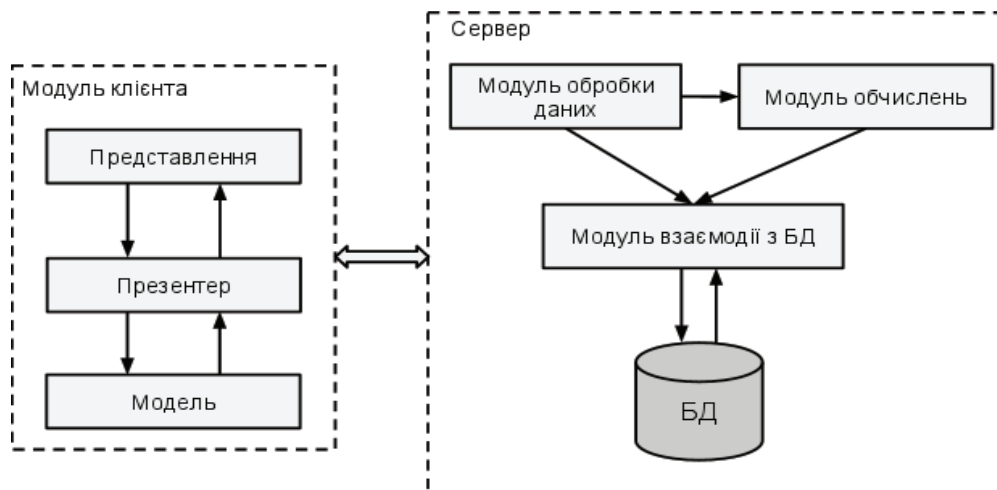


Рис. 3. Структурна схема AIS-ОФСЛ

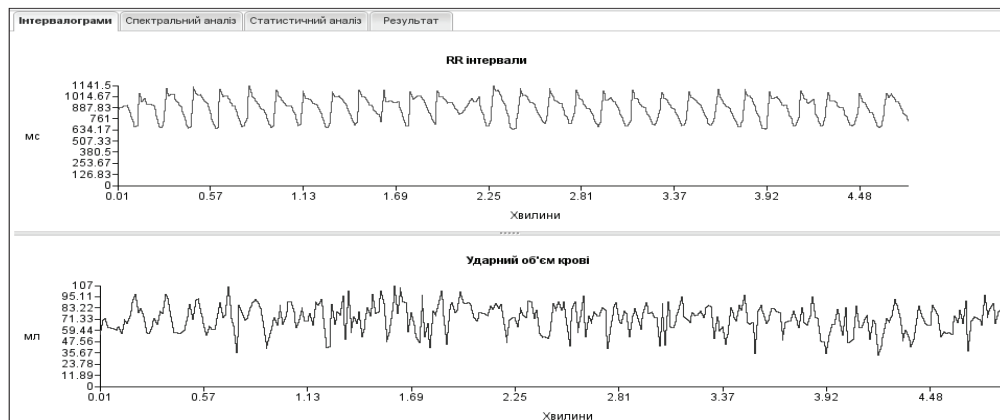


Рис. 4. Зображення інтервалограм поточного дослідження

У вкладці «Результат» відображені дані досліджуваної людини, отримані при факторно-матричному аналізі. Оцінки розраховані за трьома груповими факторами (рис. 2) та узагальненим фактором, також відображена вербальна оцінка функціонального стану людини за кожним із факторів (рис. 6).

При вимірюванні вхідних характеристик дотримувалися наступні обмеження по точності: точність вимірювання інтервалів часу при формуванні інтервалограм  $\leq 1$  мс., коефіцієнт варіації масиву вимірних значень  $< 4\%$ .

Розроблена система може бути використана для діагностики у медичних закладах, для контролю функціонального стану організму людини у спорті, а також для вивчення курсу гемодинаміки в медичних навчальних закладах.

Застосування запропонованої системи дозволило більш точно та диференційовано оцінити функціональний стан здорових молодих чоловіків.

Перспективними є дослідження та створення норм оцінок за різних умов, при різноманітних навантаженнях, у передпатологічних та патологічних станах.

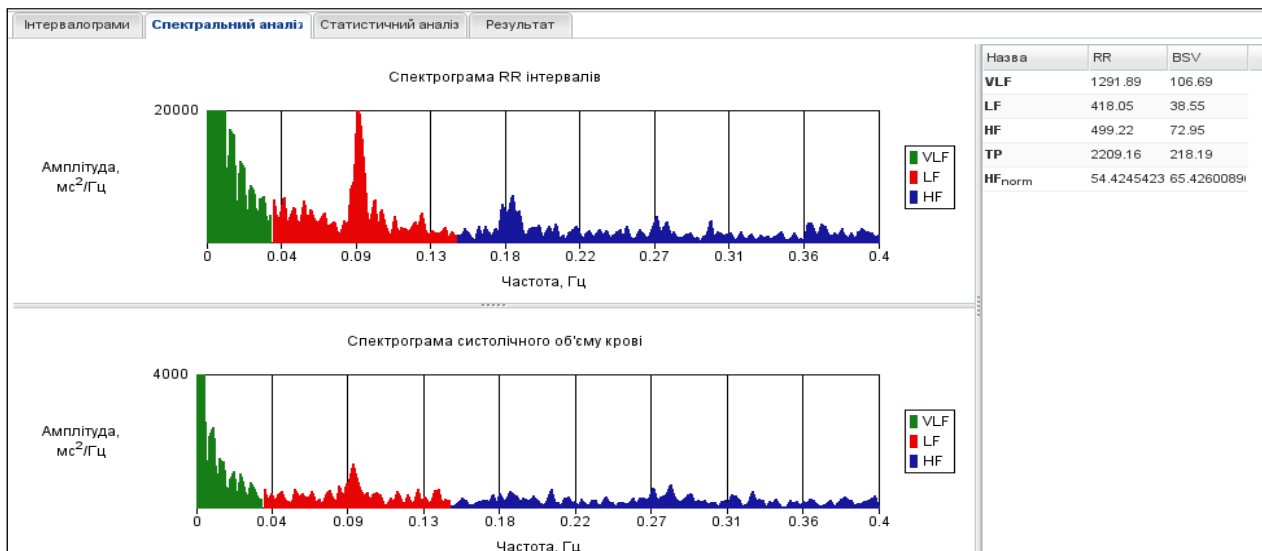


Рис. 5. Вкладка відображення результатів спектрального аналізу

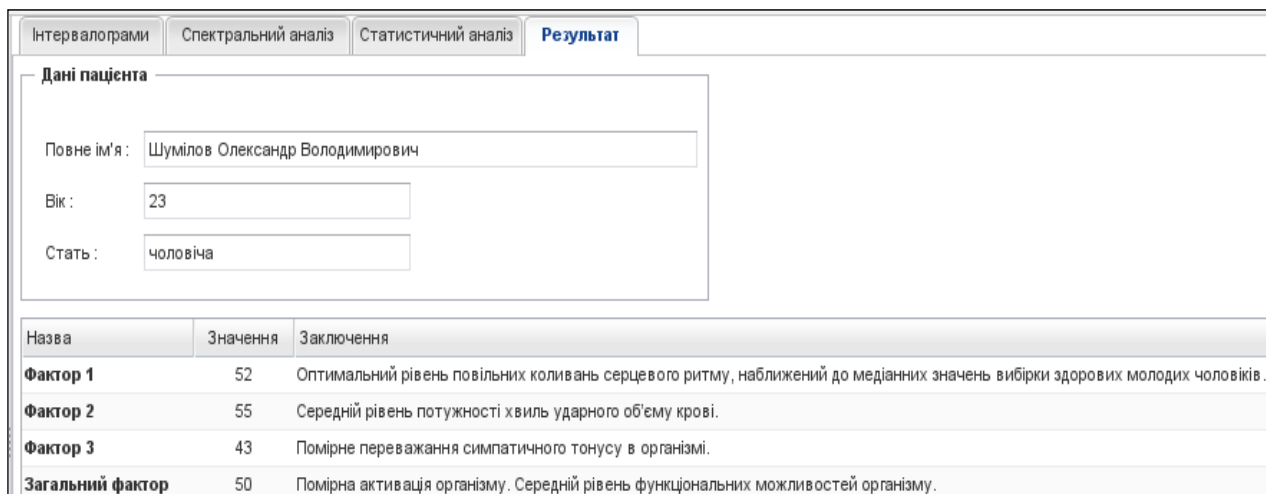


Рис. 6. Відображення результатів оцінки функціонального стану людини.

Література

- Амосов Н.М. Физическая активность и сердце / Н.М.Амосов, Я.А.Бендет - К.: Здоров'я, 1984. - 232 с.
- Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р.М.Баевский [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – №24. – С.65-87.
- Анохин П.К. Общие принципы формирования защитных приспособлений организма // Вестник АМН СССР. – 1962. – Т.17, №4. – С.16-26.
- Макаров Л.М. Холтеровское мониторирование. (Руководство для врачей по использованию метода у детей и лиц молодого возраста) / Л.М.Макаров. – М.: Медпрактика, 2000. – 214 с.
- Машин В.А. Зависимость вариабельности сердечного ритма от средней величины R-R интервалов // Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. – 2002. – Т.88, №7. – С.851-855.
- Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода / В.М.Михайлов. – Иваново: Ивановская государственная медицинская академия, 2003. – 290 с.
- Патент України №67621, МПК А61В5/0205. Спосіб визначення величини дихальної синусової аритмії / Коваленко С.О., Цибенко В.О.; заявник та власник патенту Коваленко С.О. – №20031110432; заявл. 19.11.2003; опубл.15.03.2006, Бюл. №3.
- Флейшман А.Н. Медленные колебания гемодинамики. Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике / А.Н.Флейшман. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. – 264 с.
- Eckberg D.L. Sympathovagal balance. A critical appraisal // Circulation. – 1997. – V.96. – P.3224-3232.



10. Heart rate variability in elite American track-and-field athletes / D.J.Berkoff [et al] // J Strength Cond Res. – 2007. – V.21, №1. – P.227-231.
11. Individual differences in respiratory sinus arrhythmia / S.Ben Lamine [et al] // Am J Physiol Heart Circ Physiol. – 2004. – V.286, №6. – H2305-2312.
12. Kubichek W.G. Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system / W.G.Kubichek, R.P.Patterson, D.A.Wetsol // Ann. N.Y. Acad. Sci. – 1970. - №2. – P. 724-732.
13. Malliani A. The pattern of sympathovagal balance explored in the frequency domain // News Physiol Sci. – 1999. – V.14. – P.111-117.
14. Pulse pressure variation during different loading conditions in a paediatric animal model / J.Renner [et al] // Acta Anaesthesiol Scand. – 2008.-V.52, №3.–P.374-80.
15. Relation between very high physical activity energy expenditure, heart rate variability and self-estimate of health status in middle-aged individuals / M.Buchheit [et al] // Int J Sports Med. – 2006. – V.27, №9. – P.697-701.
16. Spectral evaluation of aging effects on blood pressure and heart rate variations in healthy subjects / D.Singh [et al] // J Med Eng Technol. – 2006. – V.30, №3. – P.145-150.
17. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability / Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use // Circulation. - 1996. - V. 93. - P. 1043-1065.

**Виконана формалізована постановка задачі оптимізації структури системи пожежного моніторингу. Розроблені цільові функції для приміщень із джерелами підвищеної пожежної небезпеки, з нерівномірним пожежним навантаженням та для загального випадку**

**Ключові слова: еволюційне моделювання, цільова функція, моніторинг**

**Выполнена формализованная постановка задачи оптимизации структуры системы пожарного мониторинга. Разработаны целевые функции для помещений с источниками повышенной пожарной опасности, с неравномерной пожарной нагрузкой и для общего случая**

**Ключевые слова: эволюционное моделирование, целевая функция, мониторинг**

**The formalized raising of task of optimization of structure of the system of the fire monitoring is executed. Objective functions are worked out for apartments with the sources of enhanceable fire hazard, with the uneven fire loading and for a general case**

**Key words: evolutionary design, objective function, monitoring**

УДК 004.89:614.842.4

# ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПОЖЕЖНОГО МОНИТОРИНГУ ПРИ ЗМІННОМУ ПОЖЕЖНОМУ НАВАНТАЖЕННЮ ПРИМІЩЕННЯ

**О.М. Землянський**

Доцент

Кафедра автоматичних систем безпеки  
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034  
Контактний тел: 097-558-06-32  
E-mail: alnzeml@gmail.com

## Вступ

Дана стаття завершує цикл робіт, присвячених проблемі оптимізації систем пожежного моніторингу (СПМ) будівель і споруд. У попередніх публікаціях:

запропоновано при проектуванні СПМ враховувати можливу кількість людських жертв при пожежі, обсяги матеріальних збитків та наслідки супутніх екологічних та техногенних катастроф і розроблені моделі для їх визначення [1];

розроблено принципи і формалізовано задачі розміщення сповіщувачів пожежної сигналізації в умовах невизначеності та запропоновано здійснювати оптимізацію СПМ з використанням елементів теорії нечітких множин [2];

запропоновано моделі, структурна та параметрична ідентифікація яких дозволить визначити оптимальну кількість пожежних сповіщувачів у приміщенні у залежності від прогнозованих наслідків можливої пожежі на основі експертних висновків [3];