

УДК 651.326

**Г.І. БАРИЛО**, канд. техн. наук, доц., НУ "ЛП", Львів,  
**В.В. ВІРТ**, студент, НУ "ЛП", Львів,  
**З.Ю. ГОТРА**, д-р техн. наук, проф., НУ "ЛП", Львів,  
**М.С. ІВАХ**, канд. техн. наук, асистент, НУ "ЛП", Львів,  
**О.Т. КОЖУХАР**, д-р техн. наук, проф., НУ "ЛП", Львів

## **СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ НЕІНВАЗИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ**

Проведено огляд засобів обчислення та електронних інформаційно-обчислювальних систем неінвазивної діагностики. Розроблено структурну схему моделі, яка передбачає використання аналізу та оброблення значень параметрів вхідних інформаційних сигналів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення MathCad. Іл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

**Ключові слова:** модель, інформаційно-обчислювальна система, неінвазивна діагностика, спеціалізоване програмне забезпечення.

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** Розвиток нових лікувально-діагностичних приладів тісно пов'язаний з використанням неінвазивних методів моніторингу впливу лікувального процесу та діагностики [1], основу яких складає порівняльний за пріоритетами аналіз параметрів оптичного випромінювання [2], отриманих при його контролюванні взаємодії з кровонаповненими ділянками біомедичного об'єкта (БО). Використання вище зазначених методів останнім часом стають все більш популярними у лікарській практиці [3]. Проте найновіші з них потребують застосування в них моделі інформаційно-обчислювальної системи.

На основі аналізу стану розвитку засобів реалізації неінвазивних медичних технологій визначено відсутність у сучасних приладах неперервного контролю очікуваних позитивних або непередбачених негативних змін показників пацієнта впродовж лікувальних сеансів та відсутність у них моделі інформаційно-обчислювальної системи.

Відсутність такої моделі інформаційно-обчислювальної системи не дає можливості оперативного прийняття об'єктивного лікарського рішення та подальшої стратегії лікування обраною технологією. Впровадження такої системи дозволило б підвищити інформативність про перебіг лікування через неперервне тестування пацієнта впродовж процедури, дало б можливість прискорення, автоматизації та

---

© Г.І. Барило, В.В. Вірт, З.Ю. Готра, М.С. Івах, О.Т. Кожухар, 2015

об'єктивності прийняття лікарського рішення, та створило можливість роботи лікаря в інтерактивному форматі.

Для скорочення часу створення таких обчислювальних процесів виникає необхідність побудови математичної моделі. В основу роботи моделі закладено результати тривалих досліджень впливу оптичного випромінювання на БО та розроблено нові алгоритми аналізу, які використовують методи ймовірнісного підходу [4].

У роботі [5] виділено три основних групи сигналів, а саме: сигналів від пройденого крізь БО, відбитого від БО, а також власного випромінювання БО.

За результатами аналізу параметрів цих сигналів, як статичних так і динамічних, проводиться визначення рівня впливу на організм лікувальних процедур, перебігу захворювання та лікування, а також загальної діагностики.

В процесі аналізу та оброблення вхідних даних здійснюються складні математичні обчислення, які ґрунтуються на використанні методів ймовірнісного підходу (метод Байєса) [6] та послідовного статистичного аналізу (метод Вальда).

**Мета статті** – створення моделі інформаційно-обчислювальної системи для пристроїв неінвазивної діагностики за результатами досліджень впливу оптичного випромінювання на організм та впровадження нових алгоритмів аналізу.

**Побудова структури моделі інформаційно обчислювальної системи.** У першому наближенні логічні функції можна розглядати як процес оперування з інформацією представленою певними інформаційними сигналами, наприклад,  $X_1, \dots, X_K$ . За такого підходу вхідні сигнали є первинними, а логічні міркування – вторинними. За формулою Байєса як міра достовірності висновку про ефективність чи неефективність лікувальної процедури є ймовірність  $P(Y_j/X_i)$  для множини сигналів і статистично незалежних ознак

$$P(Y_j / X_1, \dots, X_K) = P(Y_j) \prod_{i=1}^K \frac{P(X_i / Y_j)}{P(X_i)} \quad (1)$$

або в рекурентному варіанті

$$P(Y_j / X_1, \dots, X_K) = P(Y_j / X_1, \dots, X_{K-1}) \frac{P(X_K / Y_j)}{P(X_K)} \quad (2)$$

Вираз (2) дозволяє проводити обчислення в міру надходження параметрів інформаційних сигналів, не чекаючи моменту, коли будуть оцінені всі  $K$  сигнали. Тому можна припинити врахування нових параметрів, якщо оцінка ймовірності гіпотези, що аналізується, є досить високою.

У випадку аналізу одного з двох можливих параметрів  $i$ , за умови, що  $P(Y_1) = P(Y_2)$ , справедливим для статистично незалежних ознак є

$$\frac{P(Y_1 / X_1, \dots, X_K)}{P(Y_2 / X_1, \dots, X_K)} = \prod_{i=1}^K \frac{P(X_i / Y_1)}{P(X_i / Y_2)}$$

або, після логарифмування,

$$u_1 = \ln \frac{P(Y_1 / X_1, \dots, X_K)}{P(Y_2 / X_1, \dots, X_K)} = \sum_{i=1}^K \ln \frac{P(X_i / Y_1)}{P(X_i / Y_2)} = \sum_{i=1}^K \ln z_i, \quad (3)$$

та в рекурентній формі:

$$u_K = u_{K-1} + \ln z_K. \quad (4)$$

Розв'язувальне правило в цьому випадку має такий вигляд:

$$\begin{aligned} u_K \geq 0 &\rightarrow X \in Y_1, \\ u_K < 0 &\rightarrow X \in Y_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Разом із виразом (4) розв'язувальне правило (5) трактується так: якщо після врахування чергового значення параметра досліджуваного сигналу знак величини  $u_K$  не змінився, є підстави для припинення процесу аналізу. Однак, для впевненості можна розглянути ще декілька значень цього параметра і переконатися, що величина  $u_K$  дійсно продовжує віддалятися від граничного значення, тобто є підстави для прийняття відповідного тестового повідомлення.

У випадку обмеження значень параметра тестового сигналу певними рамками використовується метод послідовного аналізу Вальда, в результаті чого можна запропонувати, замість виразу (5), розв'язувальне правило вигляду:

$$\begin{aligned} u_K \geq a &\rightarrow X \in Y_1, \\ u_K \leq b &\rightarrow X \in Y_2, \\ b &< u_K < a, \end{aligned} \quad (6)$$

де величини  $a$  і  $b$  визначають межі "коридору" і розраховуються, виходячи із заданих значень ймовірностей помилок  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$  – помилку прийняття рішення про стан тестування  $Y_1$  за наявності стану  $Y_2$  і навпаки [7].

Робота системи ґрунтується на неперервному аналізі параметрів сигналів, які надходять з чутливих сенсорів розташованих безпосередньо біля кровонаповненого органу.

Зміна фізіологічного стану спричиненого лікувальною процедурою або іншими факторами здійснює вплив на значення цих параметрів.

В запропонованій моделі використовуються три основних вхідні інформаційні канали. Динаміка зміни значень цих параметрів та їх взаємне співвідношення складають основу роботи системи.

На рис. 1 представлено структурну схему моделі, яка передбачає використання аналізу та оброблення значень параметрів вхідних інформаційних сигналів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення MathCad. Структура моделі забезпечує проведення контролю проміжних результатів обчислень та їх оперативне коригування відповідно до умов вимірювання.

Сформовані чутливими сенсорами сигнали оцифровуються та надходять на блок реєстрації вхідних сигналів. З отриманого потоку даних виділяються значення окремих каналів  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ . Кожне із отриманих значень обробляється відповідними блоками аналізу, в результаті якого визначаються допустимі межі значень цих сигналів. У випадку виходу за встановлений діапазон формується відповідне повідомлення. Такі інформаційні повідомлення можуть свідчити про несправність сенсора або невідповідність місця його встановлення. У випадку належності сигналу до встановленого діапазону значень відбувається його подальший аналіз.

У блоці обробки здійснюється почергове порівняння параметрів кожного із сигналів.

За розробленим алгоритмом визначається пріоритетний сигнал з найбільшою динамікою зміни. Зміна динаміки цього сигналу використовується для формування діагностичного повідомлення. Паралельно аналізується динаміка зміни значень інших сигналів. Відповідно до отриманих значень та тривалості процедури формується остаточне діагностичне повідомлення.

Отримані результати зіставляються з встановленою точністю зі значеннями бази даних. У випадку співпадіння дані ігноруються, а при невідповідності заносяться до бази даних. Такий підхід дозволяє розширити значення бази даних та використовувати їх для подальшого аналізу в процесі діагностики.

В основу роботи моделі закладено результати тривалих досліджень впливу оптичного випромінювання на організм та розроблено нові алгоритми аналізу, які використовують методи ймовірнісного підходу.

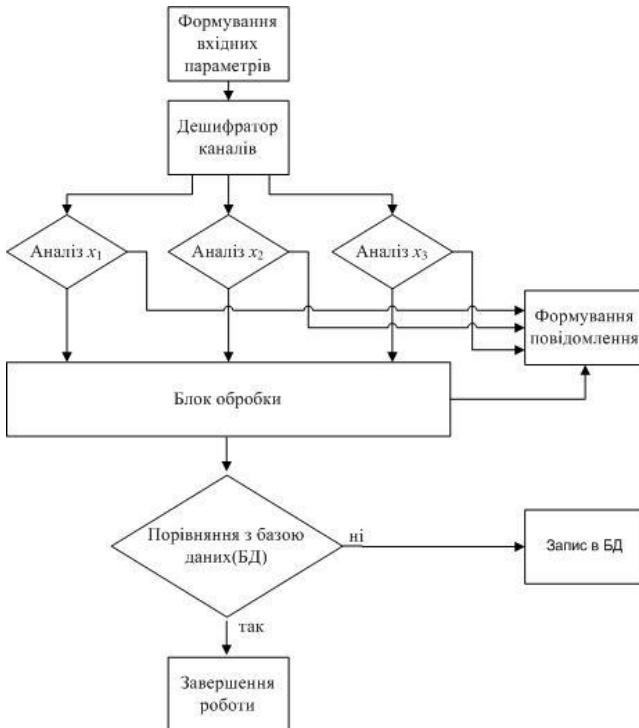


Рис. 1. Структура моделі інформаційно-обчислювальної системи

Графічні представлення результатів, наведені на рис. 2 а і 2 б, на яких один із сигналів показаний у вигляді прямої – а) вище верхньої межі та б) нижче нижньої межі, відповідають інформаційному повідомленню про відхилення за межі допустимих значень сигналів  $x_1$  та  $x_3$  – відповідно, які призводять до зупинки роботи системи, а графічне представлення зображене на рис. 2 в – відповідає робочому режиму, в процесі якого отримані значення  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  використовуються для програмного аналізу. На основі одержаних результатів формується діагностичне повідомлення.

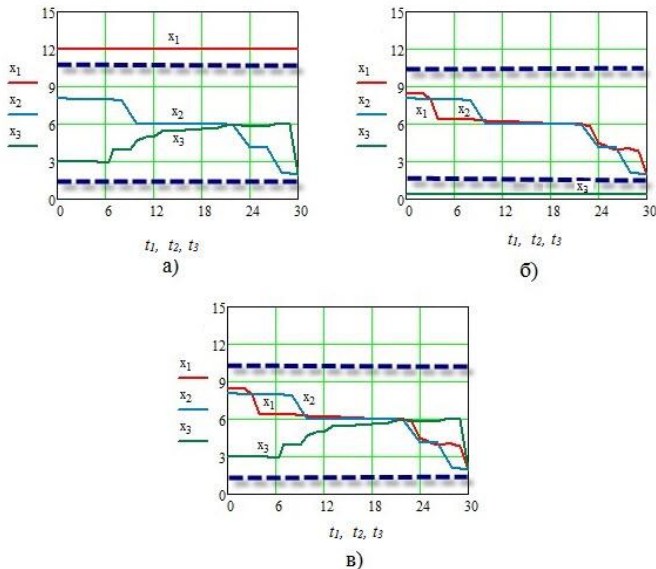


Рис. 2. Графічні залежності зміни інтенсивності вхідних параметрів  $x_1, x_2, x_3$  в часовому діапазоні 0 – 30 хв:

а) значення  $x_1$  виходить за верхню допустиму межу; б) значення  $x_3$  виходить за нижню допустиму межу; в) значення параметрів в робочому діапазоні

Мінімальне та максимальне значення робочого діапазону вхідних параметрів задаються користувачем або можуть вибиратися автоматично, відповідно до вибраних налаштувань. Графічні представлення результатів наведене на рис. 2 а і 2 б відповідають інформаційному повідомленню про відхилення допустимих значень і призводить до зупинки роботи системи, а графік 2 в – відповідає робочому режиму і отримані значення використовуються для формування діагностичного повідомлення [8].

**Висновки.** Розроблено структурну схему моделі, яка передбачає використання аналізу та оброблення значень параметрів вхідних інформаційних сигналів та проведено її реалізацію в спеціалізованому програмному середовищі MathCad. Розроблена модель забезпечує проведення контролю проміжних результатів обчислень та оперативного коригування робочого діапазону значень відповідно до умов вимірювання.

Використання запропонованої моделі значно підвищує ефективність досліджень пов'язаних з обробкою та аналізом масивів значень вхідних

параметрів, на основі яких формуються діагностичні повідомлення. Отримані результати аналізу дають змогу формувати бази даних, які використовуються в процесі побудови лікувально-діагностичних пристроїв неінвазивної медицини. Таке моделювання особливо актуальне під час використання засобів мікропроцесорної техніки з вбудованим програмним забезпеченням для оптимізації кількості циклів запису створених баз даних.

Результати моделювання дають можливість розширити функції діагностичних медичних пристроїв та отримати інформацію, як про перебіг лікувальної процедури так і про її результати.

**Список літератури: 1.** *Albrecht T.* Non-invasive diagnosis of hepatic cirrhosis by transit-time analysis of an ultrasound contrast agent / *T. Albrecht, M.J. Blomley, D.O. Cosgrove, S.D. Taylor-Robinson, V. Jayaram, R. Eckersley, A. Urbank, J. Butler-Barnes, N. Patel.* – Lancet. – 2005. – Vol. 353. – P. 79-83. **2.** *Баріло Г.І.* Апаратурно-програмне забезпечення лікувального процесу в оториноларингології з неперервним оптико-електронним тестуванням біооб'єкта. / *Г.І. Баріло, З.Ю. Готра, А.М. Зазуляк, О.О. Кіцера, О.Т. Кожухар, Н.І. Кус* // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012. – № 2 (24) . – С. 81-85. **3.** *Duncan A.* Portable Non-Invasive Blood Glucose Monitor / *A. Duncan, J. Hannigan, S.S. Freeborn, P.W.H. Rae, B. McIver, F. Greig, E.M. Johnston, D.T. Binnie, H.A. MacKenzie* // 8th Int. Conf. Solid State Sensors and Actuators and Eurosensors IX; April 2011: abstracts. – Stockholm, Sweden. – 2011. – 455-458. **4.** *Hanson K.M.* A computational approach to Bayesian inference / *K.M. Hanson, G.S. Cunningham* // Computing Science and Statistics. – VA 22039-7460, 2006. – P. 202-211. **5.** *Готра З.Ю.* Використання елементів штучного інтелекту в оптичних діагностично-лікувальних приладах / *З.Ю. Готра, О. Кожухар, Г. Баріло, М. Івах, В. Бірт* // Технічні вісті, Орган Українського інженерного товариства у Львові. – 2013. – С. 27-29. **6.** *Gregory S. Cunningham* Bayesian estimation of regularization parameters for deformable surface models / *Cunningham Gregory S., Lehovich Andre, Hanson M. Kenneth* // Los Alamos National Laboratory, University of Arizona, Dept. of Applied Mathematics. – 2010. – P. 25-31. **7.** *Баріло Г.І.* Схемотехнічні особливості побудови діагностично-лікувальних приладів на основі мікроконтролерів PSoC / *Г.І. Баріло, В.В. Бірт, З.Ю. Готра, М.С. Івах, О.Т. Кожухар* // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2014. – № 35 (1078). – С. 15-21. **8.** *Готра З.Ю.* Активний оптоелектронний контроль фотомедичних технологій / *З.Ю. Готра, О.Т. Кожухар, О.О. Кіцера, А.М. Зозуляк, М.С. Скіра* // Збірник праць. Перший Всеукраїнський з'їзд "Медицина та біологічна інформатика і кібернетика" з міжнародною участю. – Київ. – 2010. – С. 272.

**Bibliography (transliterated): 1.** *Albrecht T.* Non-invasive diagnosis of hepatic cirrhosis by transit-time analysis of an ultrasound contrast agent / *T. Albrecht, M.J. Blomley, D.O. Cosgrove, S.D. Taylor-Robinson, V. Jayaram, R. Eckersley, A. Urbank, J. Butler-Barnes, N. Patel.* – Lancet. – 2005. – Vol. 353. – P. 79-83. **2.** *Barilo G.I.* Aparaturno-programne zabezpechennja likuval'nogo procesu v otorinolaringologii z neperervnim optiko-elektronnim testuvannjam bioob'ekta / *G.I. Barilo, Z.Ju. Gotra, A.M. Zazuljak, O.O. Kicera, O.T. Kozuhar, N.I. Kus* // Optiko-elektronnii informacijno-energetichni tehnologii. – 2012. – № 2 (24) . – S. 81-85. **3.** *Duncan A.* Portable Non-Invasive Blood Glucose Monitor / *A. Duncan, J. Hannigan, S.S. Freeborn, P.W.H. Rae, B. McIver, F. Greig, E.M. Johnston, D.T. Binnie, H.A. MacKenzie* // 8th Int. Conf. Solid State Sensors and Actuators and Eurosensors IX; April 2011: abstracts. – Stockholm, Sweden. – 2011. – 455-458. **4.** *Hanson K.M.* A computational approach to Bayesian inference / *K.M. Hanson, G.S. Cunningham* // Computing Science and Statistics. – VA 22039-7460, 2006. –

P. 202-211. **5. Gotra Z.Ju.** Viktoristannja elementiv shtuchnogo intelektu v optichnih diagnostichno-likuval'nih priladah / *Z.Ju. Gotra, O. Kozhuhar, G. Barilo, M. Ivah, V. Virt* // *Tehnichni visti, Organ Ukraïns'kogo inzhenerenogo tovaristva u L'vovi*. – 2013. – S. 27-29. **6. Gregory S. Cunningham** Bayesian estimation of regularization parameters for deformable surface models / *Cunningham Gregory S., Lehovich Andre, Hanson M. Kenneth* // Los Alamos National Laboratory, University of Arizona, Dept. of Applied Mathematics. – 2010. – S. 25-31. **7. Barilo G.I.** Shemotehnichni osoblivosti pobudovi diagnostichno-likuval'nih priladiv na osnovi mikrokontroleriv PSoC / *G.I. Barilo, V.V. Virt, Z.Ju. Gotra, M.S. Ivah, O.T. Kozhuhar* // *Visnik NTU "HPI". Serija: Informatika ta modeljuvannja*. – Harkiv: NTU "HPI". – 2014. – № 35 (1078). – S. 15-21. **8. Gotra Z.Ju.** Aktivnij optoelektronnij kontrol' fotomedichnih tehnologij / *Z.Ju. Gotra, O.T. Kozhuhar, O.O. Kicera, A.M. Zozuljak, M.S. Skira* // *Zbirk prac'. Pershij Vseukraïns'kij z'ïzd "Medichna ta biologichna informatika i kibernetika" z mizhnarodnoju uchastju*. – Kiïv. – 2010. – S. 272.

*Надійшла (received) 11.04.2015*

*Статтю представив д-р фіз.-мат. наук, проф. НУ "Львівська політехніка" Микитюк З.М.*

Barylo Gryhoriy, PhD Tech.  
Senior Lecturer of the Department of Electronic Devices  
Lviv Polytechnic National University  
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013  
Tel.: (032) 258-21-73, e-mail: skb\_mp@ukr.net  
ORCID ID:0000-0001-5749-9242

Virt Volodymyr, master  
Lviv Polytechnic National University  
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013  
Tel.: (032) 258-21-73, e-mail: djamal\_vova\_virt@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0001-6537-3172

Hotra Zenon, Dr.Sci.Tech, Professor  
Head of the Department of Electronic Devices  
Lviv Polytechnic National University  
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013  
Tel.: (032) 258-21-57, e-mail: ep@lp.edu.ua  
ORCID ID: 0000-0002-6566-6706

Ivakh Mariya, PhD Tech.  
Assistant Professor at the Department of Electronic Devices  
Lviv Polytechnic National University  
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013  
Tel.: (032) 258-21-73, e-mail: ivah\_m@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0002-6735-5426

Kozhukhar Oleksandr, Dr.Sci.Tech, Professor  
Professor at the Department of Electronic Devices  
Lviv Polytechnic National University  
Str. S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013  
Tel.: (032) 258-21-73, e-mail: akozhukha@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0002-7432-2526