

УДК 519.876.5

Н.Я. Савка, О.Л. Козак

*Тернопільський національний економічний університет*

## **ІНТЕРВАЛЬНІ МОДЕЛІ З РАДІАЛЬНО-БАЗИСНИМИ ФУНКЦІЯМИ ДЛЯ ЗАДАЧІ ВИЯВЛЕННЯ РОЗМІЩЕННЯ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА**

Охарактеризовано особливості задачі виявлення зворотного гортанного нерва на хірургічній рані. Побудовано інтервальну модель з радіально-базисними функціями для оцінки відстані від точки подразнення хірургічної рани до зворотного гортанного нерва.

**Ключові слова:** *інтервальні моделі з радіально-базисними функціями, зворотний гортанний нерв, ідентифікація, операція на щитоподібній залозі.*

Охарактеризованы особенности задачи обнаружения обратного гортанного нерва на хирургической ране. Построена интервальная модель с радиально-базисными функциями для оценки расстояния от точки раздражения хирургической раны к обратному гортанному нерву.

**Ключевые слова:** *интервальные модели с радиально-базисными функциями, обратный гортанный нерв, идентификация, операция на щитовидной железе.*

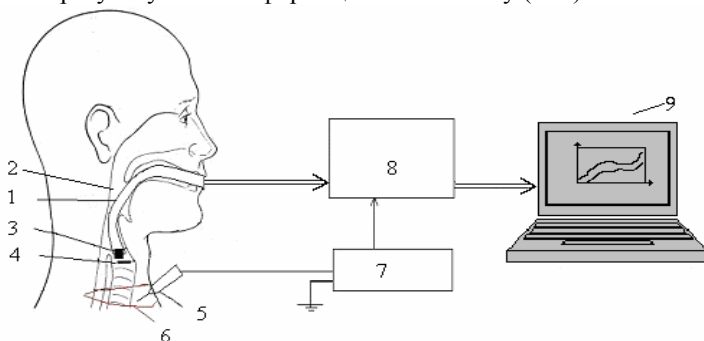
The features of the problem of detection recurrent laryngeal nerve on surgical wound was characterized. Interval model of radial basis functions to assess the distance from the point of irritation surgical wound the opposite laryngeal nerve was constructed.

**Keywords:** *interval model of radial basis functions, recurrent laryngeal nerve, identification, surgery on thyroid gland.*

**Вступ.** При проведенні операції на щитоподібній залозі основною проблемою є виявлення зворотного гортанного нерва (ЗГН), пошкодження якого призводить до негативних наслідків, пов'язаних із дихальною системою людини. Сучасні технічні засоби для виявлення ЗГН ґрунтуються на подразненні тканин хірургічної рани змінним струмом фіксованої частоти і оцінюванні результатів подразнення на голосових зв'язках [1].

У результаті подразнення області хірургічного втручання одержуємо інформаційний сигнал, який характеризує наближеність до

зворотного гортанного нерва і вказує чи точка подразнення належить ЗГН чи м'язовій тканині. Засоби опрацювання інформаційного сигналу детально описано у праці [2]. На рис. 1 зображено схему одержання результуючого інформаційного сигналу (РІС).



**Рисунок 1 – Схема отримання інформаційного сигналу для ідентифікації гортанного нерва [2]**

Як бачимо на рисунку, у дихальну трубку – 1, що розміщена у гортані пацієнта – 2, встановлено сенсор звукових коливань – 3, розміщений над голосовими зв'язками – 4. За допомогою щупа – 5 зондують тканини у хірургічній рані – 6. Щуп – 5 з'єднаний з генератором змінного струму – 7 силою 0,5–2 мА та фіксованою частотою. Стимуляція зворотного гортанного нерва призводить до скорочення м'язів гортані та натягу голосових зв'язок. Потік повітря, що проходить через дихальну трубку – 1, зумовлює звукові коливання, що фіксуються звуковим сенсором – 3, перетворюються у електричний сигнал, підсилюються підсилювачем – 8 та подаються на аудіовхід звукової картки комп'ютера – 9.

Проблемою ідентифікації ЗГН серед інших тканин хірургічної рани займалися такі науковці, як Дивак М.П., Шідловський В.О., Козак О.Л., Пукас А.В., Падлецька Н.І. Зокрема у праці [3] розглянуто метод ідентифікації ЗГН на хірургічній рані, що ґрунтується на амплітуді РІС. Проте амплітуда інформаційного сигналу достатньо велика при подразненні безпосередньо ЗГН і різко зменшується при незначному віддаленні від нього, що суттєво знижує точність зазначеного методу. У працях [4; 5] описано методи ідентифікації ЗГН, що ґрунтуються на автокореляційній функції та спектрі РІС.

Проте індивідуальні особливості гортані кожного пацієнта суттєво впливають на точність ідентифікації ЗГН за вказаними методами.

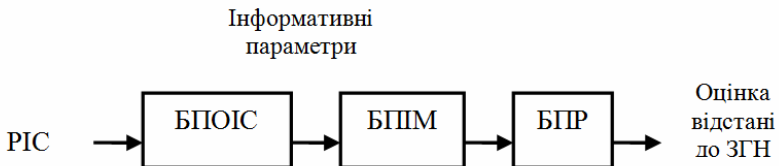
У той же час у процесі досліджень встановлено, що характеристики РІС суттєво залежать від властивостей операційної рани – типу тканини та відстані від розміщеного активного електрода на області хірургічного втручання до ЗГН [6]. Зважаючи на це, зниження ризику пошкодження ЗГН пов'язане не стільки із його ідентифікацією, а й із постійним контролем відстані від точки подразнення тканин хірургічної рани до ЗГН. У праці [7] запропоновано інтервальну модель для ідентифікації відстані до ЗГН під час операції на щитоподібній залозі, проте зазначена модель ґрунтується на амплітуді сигналу, яка не є повним індикатором типу тканин хірургічної рани, й не призначена для групи пацієнтів, що суттєво знижує її точність при ідентифікації відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН.

Із проведеного аналізу випливає, що сучасні методи ідентифікації ЗГН при проведенні хірургічної операції на щитоподібній не описують достатньою мірою властивостей хірургічної рани, оскільки спрямовані на встановлення лише типу тканини області хірургічного втручання. Таким чином, ризик пошкодження ЗГН під час проведення операції залишається високим.

З огляду на це, доцільним є застосування нових методів, які б уможливили одержати оцінку відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН і тим самим знизити ризик пошкодження ЗГН під час проведення операції на щитоподібній залозі.

**Схема розв'язку задачі виявлення зворотного гортанного нерва на області хірургічного втручання.**

Задачу виявлення ЗГН на області хірургічного втручання розглянемо як задачу оцінки відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН. Узагальнену схему розв'язку задачі виявлення наведено на рис. 2, де БПОІС – блок попереднього опрацювання РІС; БПМ – блок побудови інтервальних моделей; БПР – блок прийняття рішень.



**Рисунок 2 – Узагальнена схема розв'язку задачі виявлення ЗГН**

На рисунку проілюстровано, що результуючий інформаційний сигнал поступає на вхід блоку попереднього опрацювання сигналів, де відбувається виокремлення його інформативних ознак. На основі інформативних ознак сигналів – вхідних та інтервальних вихідних даних із застосуванням методів ідентифікації інтервальних моделей у наступному блоці будуємо інтервальну модель. На основі побудованої інтервальної моделі приймається рішення щодо відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН.

У праці [8] обґрунтовано доцільність застосування математичних моделей з радіально-базисними функціями (РБФ) для виявлення ЗГН. Моделі зазначеного типу мають суттєві переваги, зокрема, здатність моделювати та прогнозувати нестационарні процеси, можливість навчатися на обмеженій та неоднорідній вибірці даних, висока швидкість навчання.

Математичні моделі РБФ записують у такому вигляді [9]:

$$y_j = F_j(\vec{x}) = w_{0j} + \sum_{i=1}^h w_{ij} f_i(\vec{x}) = \vec{w}_j^T \vec{f}(\vec{x}), \quad (1)$$

де  $y_j$  -  $j$ -ий вихідний сигнал ( $j = 1, 2, \dots, m$ );  $F_j(x)$  – нелінійне перетворення вхідного вектора  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  в  $j$ -ий вихідний;  $\vec{w} = (w_0, w_1, \dots, w_h)^T$  – вектор невідомих параметрів;  $\vec{f}(\vec{x}) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_h(x))^T$  – вектор радіально-базисних функцій;  $i = 1, \dots, h$ ,  $h$  – кількість невідомих параметрів.

Як радіально-базисні, зазвичай, застосовують функції Гаусса. При цьому структура моделі (1) набуває вигляду:

$$y_j = F_j(\vec{x}) = w_{0j} + \sum_{i=1}^h w_{ij} f_i(\|\vec{x} - \vec{c}_i\| \sigma^{-2}) = \vec{w}_j^T \vec{f}(\|\vec{x}_j - \vec{c}_i\| \sigma^{-2}) \quad (2)$$

де  $\vec{c}_i$  – вектор центрів радіально-базисних функцій;  $\sigma^{-2}$  – стандартне відхилення (параметр згладження, параметр ширини вікна, радіус базисних функцій).

### **Особливості побудови характеристик інформаційних сигналів в інтервальному вигляді.**

Вхідними даними для задачі виявлення ЗГН є вектор  $\vec{x}$  інформативних параметрів РІС. Блок-схему алгоритму одержання інформативних параметрів РІС зображено на рис. 3. В результаті досліджень встановлено, що спектральні характеристики інформаційних сигналів, а саме – максимальна амплітуда  $U_{\max}$

спектральної складової та частота  $F_{U_{\max}}$ , на якій зосереджена спектральна складова, є повними індикаторами типу тканини хірургічної рани, а їх одержання не вимагає значних обчислювальних витрат. Таким чином, вектор входів представляємо  $\vec{x} = (x_1, x_2)$ , де

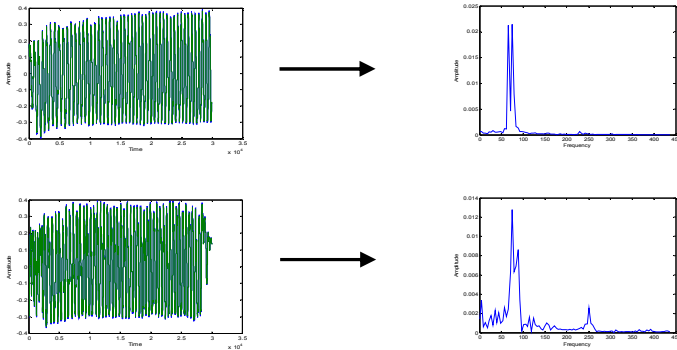
$$x_1 = U_{\max}, \quad x_2 = F_{U_{\max}}.$$

У той же час бувають випадки, коли по вищезазначених характеристиках РІС точно встановити тип тканини операційної рани неможливо. Це пов'язано із індивідуальністю гортані кожного пацієнта, анатомічними особливостями щитоподібної залози, місцезнаходженням гортанного нерва, а також із відстанню від точки подразнення до ЗГН.



**Рисунок 3 – Алгоритм отримання інформативних параметрів  
результуючих інформаційних сигналів**

У процесі експериментальних досліджень встановлено, що існують групи подібних РІС пацієнтів, інформативні параметри яких відрізняються. Зазначений випадок проілюстровано на рис. 4.



**Рисунок 4 – Подібні РІС з різними інформативними параметрами**

За таких умов невизначеність інформативних параметрів РІС груп пацієнтів доцільно описати деяким інтервалом. Це уможливить зменшити ризик пошкодження ЗГН під час розтину тканин хірургічної рани та зменшить час проведення операції на щитоподібній залозі.

Відстань від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН для інформаційного сигналу  $j$ -го пацієнта позначимо як  $y_j$ . У зазначеному випадку відсутній формальний опис моделі зображення вихідних даних, а також немає можливості точно визначити відстань до ЗГН на хірургічній рані експериментально. За таких умов завданням дослідника є передбачення можливих значень відстані від точки подразнення до ЗГН на хірургічній рані залежно від значень її входів  $\bar{x}_j$  [1]. Природно, що точне передбачення відстані у цій ситуації неможливе, тому найдоцільніше представити вихідну змінну  $y_j$  за допомогою певних меж – інтервалів відстані. При цьому завжди справджується умова, що невідоме реальне значення відстані від точки подразнення до ЗГН  $y_0(\bar{x}_j)$  належить відомому інтервалу  $[y_j^-, y_j^+]$ , де  $y_j^-$ ,  $y_j^+$  – нижня і верхня межі інтервалу відстані від точки подразнення до ЗГН на області хірургічного втручання.

Розглянемо детально процедуру формування інтервалів відстані до ЗГН. У загальному випадку із певного набору параметрів інформаційних сигналів впливає деякий інтервал відстані, тобто

$$\{(U_{\max})_i, (F_{U_{\max}})_i\} \Rightarrow [y_j^-, y_j^+]$$

У результаті аналізу нагромадженої бази спектральних характеристик РІС витікає, що по певному набору параметрів  $(U_{\max})_i, (F_{U_{\max}})_i$  можна ідентифікувати безпосередньо ЗГН, тобто на виході інтервальної моделі з РБФ одержуємо інтервал, ширина якого дорівнює 0:

$$(U_{\max})_i, (F_{U_{\max}})_i \Rightarrow [0;0].$$

Інший набір інформативних параметрів для одного пацієнта із групи вказує, що подразнення здійснено на відстані 6–7 мм до ЗГН, для другого – 7–8 мм, а для третього – 6–8 мм і т.д., що впливає із експериментальних даних, одержаних хірургом під час операцій на щитоподібній залозі. Враховуючи зазначене, формуємо інтервали відстані:

$$(U_{\max})_1, (F_{U_{\max}})_1 \Rightarrow [6;7];$$

$$(U_{\max})_2, (F_{U_{\max}})_2 \Rightarrow [7;8];$$

$$(U_{\max})_3, (F_{U_{\max}})_3 \Rightarrow [6;8];$$

$$(U_{\max})_n, (F_{U_{\max}})_n \Rightarrow [7;8].$$

Таким чином, одержану множину параметрів РІС трансформуємо у інтервал відстані від точки подразнення до ЗГН на хірургічній рані:

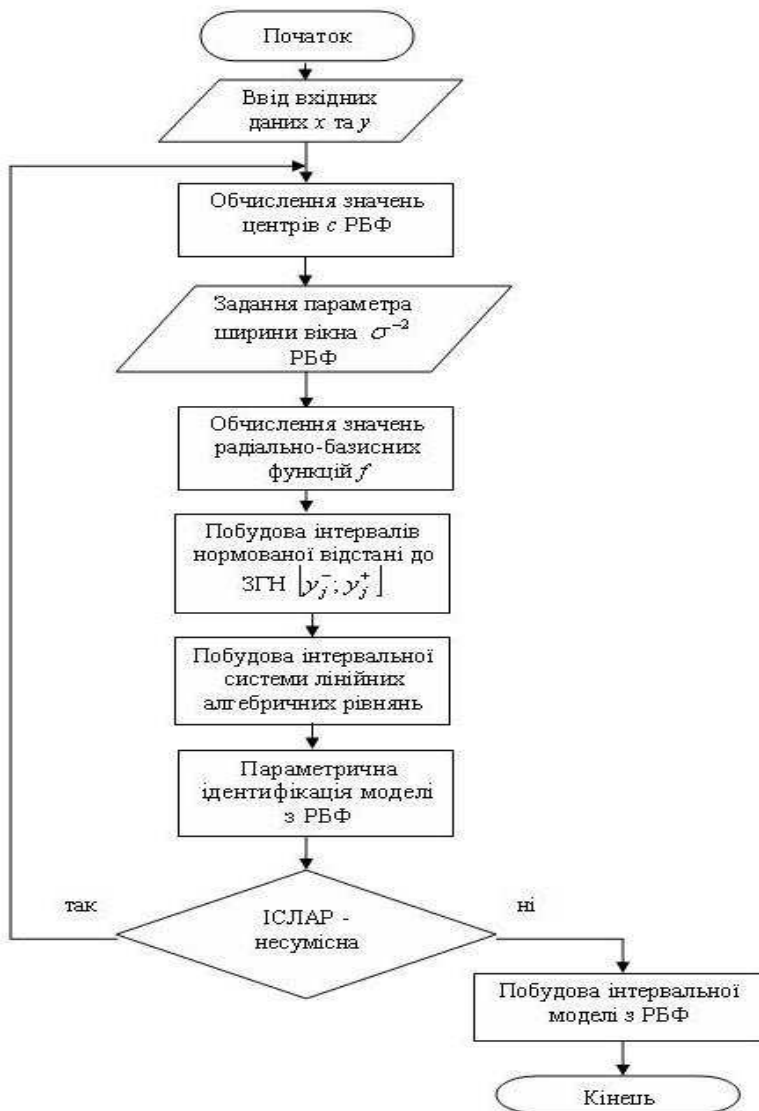
$$\{(U_{\max})_1, (F_{U_{\max}})_1; (U_{\max})_2, (F_{U_{\max}})_2; (U_{\max})_3, (F_{U_{\max}})_3; \dots; (U_{\max})_n, (F_{U_{\max}})_n\} \Rightarrow \\ \Rightarrow [6;7] \cup [7;8] \cup [6;8] \cup [7;8] \Rightarrow [6;8]$$

Більша ніж 1 см відстань до ЗГН на хірургічній рані не становить для хірурга ризику післяопераційних ускладнень. Зважаючи на це, в результаті нормування можна стверджувати, що точка подразнення хірургічної рани знаходиться в межах  $_{[0,1;0,3]}$  ЗГН.

Оскільки вихідні дані для задачі виявлення місцезнаходження ЗГН на області хірургічного втручання представлені в інтервальному вигляді, то це вимагає побудови математичної моделі з РБФ на основі аналізу інтервальних даних.

### **Метод ідентифікації інтервальних моделей з радіально-базисними функціями.**

У праці [10] розроблено метод ідентифікації інтервальних моделей з РБФ. Схему реалізації методу представлено на рис. 5. Суттєвою перевагою зазначеного методу ідентифікації є те, що він поєднує процедури налаштування структури інтервальної моделі на основі РБФ та одержання гарантованих інтервальних оцінок її параметрів.



**Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму ідентифікації інтервальних моделей з радіально-базисними функціями**



За рахунок радіально-базисних функцій структурна ідентифікація інтервальних моделей зазначеного типу суттєво спрощується. Пошук кількості базисних функцій полягає в обчисленні центрів рецепторного поля РБФ на основі методу «гірської» кластеризації. Блок-схему алгоритму субтрактивної кластеризації, що реалізує метод «гірської» кластеризації, проілюстровано на рис. 6.

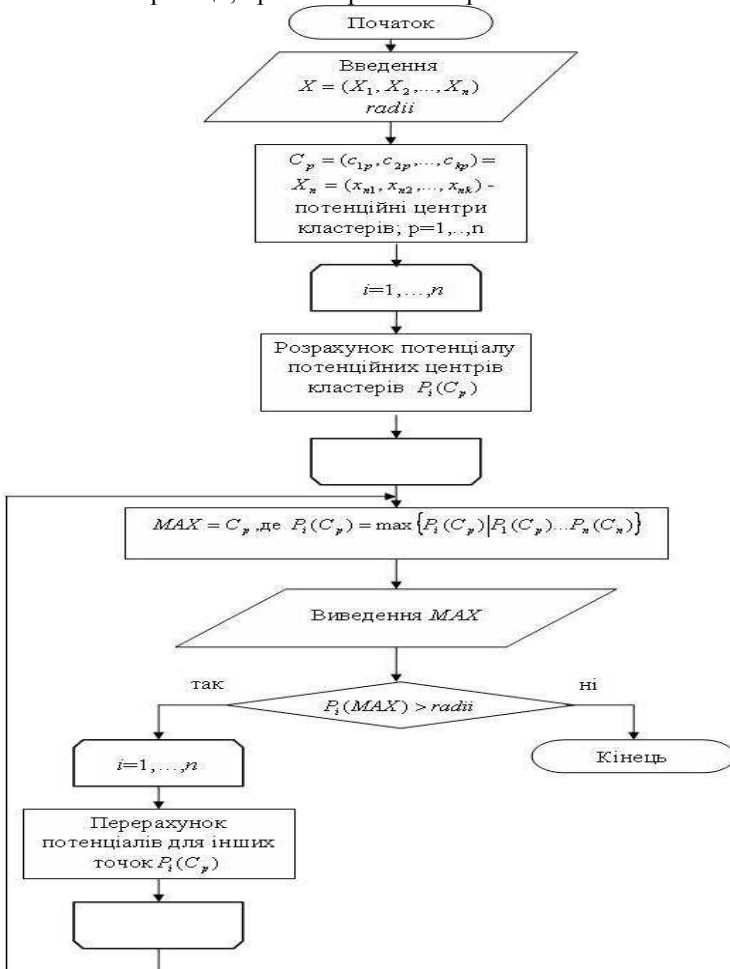


Рисунок 6 – Блок-схема реалізації алгоритму субтрактивної кластеризації

Обчисливши центри  $\vec{n} = (\vec{n}_1, \vec{n}_2)$ , одержуємо структуру інтервальної моделі на основі радіально-базисних функцій:

$$\hat{y} = w_1 f_1 (\|\vec{x} - \vec{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_h f_h (\|\vec{x} - \vec{c}_h\| \sigma^{-2}) \quad (3)$$

На основі одержаної структури моделі (3) та інтервальних вихідних даних  $[y_j^-, y_j^+]$ ,  $j=1, \dots, N$  будемо інтервальну систему лінійних алгебричних рівнянь (ІСЛАР):

$$\begin{cases} y_1^- \leq w_1 f_1 (\|\vec{x}_1 - \vec{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_h f_h (\|\vec{x}_1 - \vec{c}_h\| \sigma^{-2}) \leq y_1^+; \\ \vdots \\ y_N^- \leq w_1 f_1 (\|\vec{x}_N - \vec{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_h f_h (\|\vec{x}_N - \vec{c}_h\| \sigma^{-2}) \leq y_N^+. \end{cases} \quad (4)$$

Якщо ІСЛАР (4) – сумісна, то структура інтервальної моделі з РБФ (3) є адекватною для розв’язку задачі виявлення ЗГН. У протилежному випадку ускладнюємо структуру моделі шляхом перерахунку центрів рецепторного поля радіально-базисних функцій.

Параметрична ідентифікація інтервальних моделей на основі радіально-базисних функцій зводиться до розв’язку ІСЛАР (4). За умов сумісності системи одержуємо область значень параметрів моделі  $\Omega$ .

### **Приклад задачі виявлення розміщення ЗГН на хірургічній рані на основі інтервальної моделі з радіально-базисними функціями.**

Експеримент проведено на вибірці із понад 100 інформаційних сигналів різних пацієнтів, що одержані у процесі операції на щитоподібній залозі. Опрацювавши РІС із застосуванням алгоритму, який зображено на рис. 3, отримано базу інформативних параметрів – максимальної амплітуди спектральної складової та частоти спектральної складової. У результаті аналізу сформованої бази характеристик РІС побудовано групи пацієнтів за подібними інформаційними сигналами, але різними їх інформативними параметрами.

Спіраючись на вищеописану процедуру побудови інтервалів відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН, одержано вихідні характеристики для задачі виявлення розміщення зворотного гортанного нерва  $[y_j^-, y_j^+]$ ,  $j=1, \dots, 100$ .

На основі вхідних експериментальних даних, у результаті реалізації алгоритму кластеризації, який представлено на рис. 6, побудовано таблицю центрів рецепторного поля радіально-базисних функцій.

**Центри радіально-базисних функцій**

$\bar{c}_1$	0,414	0,044
$\bar{c}_2$	0,101	0,701
$\bar{c}_3$	0,004	0,001
$\bar{c}_4$	0,830	0,211

Враховуючи вищезазначене, структура інтервальної моделі з РБФ для оцінки відстані від точки подразнення ЗГН на хірургічній рані набуде вигляду:

$$\hat{y} = w_1 f_1(\|\bar{x} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + w_2 f_2(\|\bar{x} - \bar{c}_2\| \sigma^{-2}) + w_3 f_3(\|\bar{x} - \bar{c}_3\| \sigma^{-2}) + w_4 f_4(\|\bar{x} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \quad (5)$$

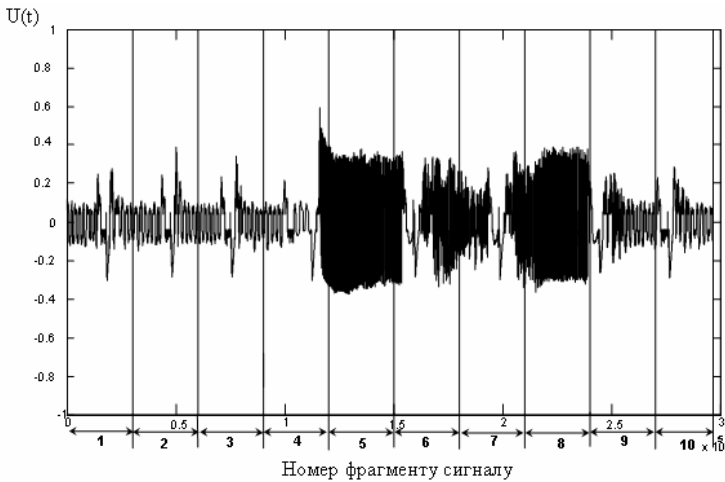
На основі структури моделі (5) та експериментальних даних будуюмо ІСЛАР:

$$\begin{cases} 0,1 \leq w_1 f_1(\|\bar{x}_1 - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_4 f_2(\|\bar{x}_1 - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \leq 0,3; \\ \vdots \\ 0,3 \leq w_1 f_1(\|\bar{x}_{50} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_4 f_2(\|\bar{x}_{50} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \leq 0,6; \\ \vdots \\ 0,1 \leq w_1 f_1(\|\bar{x}_{100} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) + \dots + w_4 f_2(\|\bar{x}_{100} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \leq 0,3. \end{cases} \quad (6)$$

ІСЛАР (6) виявилася сумісною, тому структура інтервальної моделі з РБФ (5) є адекватною для оцінки відстані від точки подразнення до ЗГН. У результаті розв'язування ІСЛАР із застосуванням процедур лінійного програмування одержуємо вектор гарантованих інтервальних оцінок параметрів інтервальної моделі на основі радіально-базисних функцій:

$$[\bar{w}] = ([2,2392 \ 2,3408]; [0,0022 \ 0,0841]; [0,7743 \ 0,7826]; [-0,0903 \ -1,9729]).$$

Перевірку ефективності побудованої інтервальної моделі з РБФ здійснено на основі РІС, які не досліджувалися для навчальної вибірки. Для прикладу, на рис. 7 зображено сегментований інформаційний сигнал деякого пацієнта. На рис. 8, наведеному нище, проілюстровано результат прогнозування відстані від точки подразнення хірургічної рани до ЗГН із застосуванням інтервальної моделі з РБФ.



**Рисунок 7 – Сегментований результуючий інформаційний сигнал деякого пацієнта**



**Рисунок 8 – Результат виявлення зворотного гортанного нерва на основі інтервальної моделі з радіально-базисними функціями**

Як свідчать результати експериментів, інтервальна модель з РБФ не тільки класифікує тканини хірургічної рани, але й забезпечує оцінку відстані від точки подразнення до ЗГН. Побудовані інтервали нормованої відстані до ЗГН на основі інтервальної моделі гарантовано точні, але чужь зазублені. Прогнозований інтервал відстані від точки подразнення до ЗГН включає реальний експериментальний інтервал відстані, що не становить для хірурга ризику пошкодження ЗГН під

час проведення операції на щитоподібній залозі, проте час проведення операції суттєво зменшується.

**Висновки.** Розглянуто задачу виявлення місцезнаходження зворотного гортанного нерва на хірургічній рані із застосуванням інтервальної моделі з радіально-базисними функціями. У процесі розв'язання задачі отримано такі наукові та практичні результати:

1. Запропоновано процедуру побудови характеристик інформаційних сигналів в інтервальному вигляді.

2. Запропоновано метод та алгоритми ідентифікації математичних моделей із РБФ на основі аналізу інтервальних даних для розв'язку задачі виявлення розміщення зворотного гортанного нерва.

3. На основі реальних експериментальних даних, отриманих під час проведення операцій на щитоподібній залозі, із застосуванням методу ідентифікації інтервальних моделей із РБФ побудовано інтервальну модель на основі радіально-базисних функцій із гарантованими оцінками параметрів, яка уможливила підвищити точність виявлення зворотного гортанного нерва на області хірургічного втручання та зменшити час проведення операції.

### Бібліографічні посилання

1. **Дивак М. П.** Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними : монографія. – Тернопіль: Економічна думка, 2011. – 216 с.

2. Патент України на корисну модель № 51174. Спосіб ідентифікації гортанного нерва з інших тканин хірургічної рани при проведенні хірургічних операцій на щитовидній залозі / Дивак М.П., Шідловський В.О., Козак О.Л. // Бюл. "Промислова власність". – 2010. – № 13.

3. **Козак О.Л.** Застосування методів допускового еліпсоїдного оцінювання параметрів інтервальних моделей для задачі візуалізації гортанного нерва / Козак О.Л., Дивак М.П., Пукас А.В. // Вісник нац. ун-ту "Львівська політехніка". Радіoeлектроніка та телекомунікації. – 2010. – № 680. – С.196–205.

4. **Dyvak M.** Identification the Recurrent Laryngeal Nerve by the Autocorrelation Function of Signal as Reaction on the Stimulation of Tissues in Surgical Wound / M. Dyvak, N. Padletska, A. Pukas, O. Kozak // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. Proceedings of the XIIth International Conference CADSM'2013. – Lviv-Polyana-Svalyava : Publishing House of Lviv Polytechnic., 2013. – P. 89–92.

5. **Dyvak M.** Spectral analysis the information signal in the task of identification the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery / Mykola Dyvak, Natalia Kasatkina, Andriy Pukas, Natalia Padletska, // Proc. (forum catalogue) of the 13th International Workshop “Computational Problems of Electrical Engineering”. – Grubow, Poland, September 5–8, 2012. – P.55.

6. **Розновський Я. Р.** Ідентифікація гортанних нервів серед тканин операційної рани / Я. Р. Розновський // Науковий вісник міжнародного гуманітарного університету [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vestnik-medicine.mgu.od.ua>.

7. **Dyvak M.** Electrophysiological method and interval model for identification the distance to reverse laryngeal nerve during surgery operation on the thyroid / Mykola Dyvak, Andriy Pukas // Computational Problems of Electrical Engineering. Proceedings of abstracts of the 15th International Conference CPEE'2014: National University "Lviv Polytechnic". – Kostryno, Zakarpattia Region, Ukraine, 2011. – P. 65.

8. **Savka N.** Intelligent Classifier Based on Radial Basis Function Network for the Task of Identification the Recurrent Laryngeal Nerve in a Surgical Wound / Nadiya Savka, Mykola Dyvak, Andriy Pukas, Vasyl Nemish // Journal of Applied Computer Science. – Poland, 2014. – Vol. 22. – No 2. – P. 55–64.

9. **Бодянский Е. В.** Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения : монография / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко; ТЕЛТЕХ. – Х. : 2004. – 372 с.

10. **Дивак М. П.** Метод ідентифікації вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями на основі аналізу інтервальних даних / Дивак М. П., Савка Н. Я. // Наукові праці Донецького нац. технічного ун-ту. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2012 – Вип. 15 (203). – С. 132–139.

*Надійшла до редколегії 24.04.15*