

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Савка Надія Ярославівна



УДК 519.876.5:616.2

**МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК  
СЕРЕДОВИЩА МОНІТОРИНГУ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА**

01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Тернопільському національному економічному університеті  
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Дивак Микола Петрович**,  
Тернопільський національний економічний університет,  
декан факультету комп'ютерних  
інформаційних технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Гребеннік Ігор Валерійович**,  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки, м. Харків,  
завідувач кафедри системотехніки;

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Юзефович Роман Михайлович**,  
Фізико-механічний інститут  
ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів,  
завідувач лабораторії вібродіагностики.

Захист відбудеться 30 березня 2017 року о 16<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 2, корп. 11, ауд. 218).

Із дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий «27» лютого 2017 року.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, професор



Р. А. Бунь

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасних технічних засобах оперативної хірургії на щитоподібній залозі з метою моніторингу зворотного гортанного нерва (ЗГН) використовують програмно реалізовані компоненти на основі математичних моделей характеристик середовища хірургічного втручання. Зазначені програмні компоненти є складовими універсальних нейромоніторів, які описано у працях Riddell V, Galivan J, Basmajian J, Davis WE.

Останнім часом для моніторингу ЗГН також використовують спеціалізовані засоби, функціонування яких ґрунтується на подразненні тканин хірургічної рани змінним струмом, оцінюванні результатів подразнення за інтенсивністю скорочення голосових зв'язок і на цій основі встановлення місця розміщення ЗГН. У зазначеному випадку математичними моделями характеристик середовища хірургічного втручання є спектральні та автокореляційні характеристики звукових сигналів, що опосередковано відображають скорочення голосових зв'язок внаслідок подразнення тканин хірургічної рани. Однак такий підхід дає можливість розв'язати тільки задачу класифікації тканин хірургічної рани. В той же час для скорочення часу моніторингу ЗГН в цілому важливим є визначення відстані від точок подразнення тканин до ЗГН.

За цих умов важливою є розробка математичних моделей середовища хірургічного втручання, спільних для групи пацієнтів, що відображали б місце розміщення ЗГН залежно від точок подразнення тканин хірургічної рани. Унаслідок специфіки гортані кожного пацієнта, вибірка експериментальних даних для структурної та параметричної ідентифікації такої моделі є неоднорідною, тому їх доцільно представити в інтервальному вигляді.

Існуючі методи структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей на основі аналізу інтервальних даних, зокрема такі, як редукції, «нарощування» структури математичної моделі, методи на основі генетичних алгоритмів чи поведінкових моделей колонії медоносних бджіл, які описано в у працях Karaboga D., Sean L., Дивака М.П., Порплиці Н.П., відзначаються високою обчислювальною складністю реалізації і до того ж формують складні структури моделей, які не придатні для моделювання характеристик середовища хірургічного втручання і моніторингу ЗГН.

У працях Nelles O., Park J., Sunil E., Бодянського Є.В. розглянуто достатньо прості структури математичних моделей з радіально-базисними функціями (РБФ), що побудовані за аналогією до штучних нейронних мереж. У процесі структурної ідентифікації таких моделей потрібно здійснити лише налаштування параметрів рецепторного поля радіально-базисних функцій. Однак задачі ідентифікації для цього класу моделей із використанням інтервальних даних не досліджено.

Зважаючи на вищезазначене, актуальною є науково-прикладна задача розробки методів структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей із радіально-базисними функціями в умовах інтервальної невизначеності та застосування цих моделей для моделювання характеристик середовища моніторингу ЗГН. Розв'язок зазначеної науково-прикладної задачі забезпечить зниження ризику

пошкодження ЗГН і одночасно зменшення часу проведення операції на щитоподібній залозі за рахунок скорочення часу моніторингу ЗГН.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася відповідно до координаційного плану науково-дослідних робіт і науково-технічних програм Міністерства освіти і науки України, зокрема в межах пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки «Інформаційні та комунікаційні технології», визначеного Законом України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» (№ 2623-III від 11.07.2001 р. в редакції від 16.01.2016 р.) та пов'язана із науково-дослідною роботою Тернопільського національного економічного університету. Основні результати дисертаційної роботи отримано в межах виконання таких тем:

- держбюджетна прикладна розробка “Інформаційна технологія для ідентифікації і візуалізації зворотнього гортанного нерва в процесі хірургічної операції на щитовидній залозі” (номер державної реєстрації 0112U000078), де автором розроблено інтервальні моделі (ІМ) характеристик середовища хірургічного втручання для моніторингу ЗГН;

- комплексне держбюджетне прикладне дослідження “Теорія побудови та методи реалізації в реальному часі міждисциплінарних математичних моделей зміни стану складних об'єктів” (номер державної реєстрації 0114U000569), у якому автором розроблено методи структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей з радіально-базисними функціями в умовах інтервальної невизначеності;

- кафедральна науково-дослідна робота “Макромодельовання складних систем та процесів в умовах структурної невизначеності на основі неточних даних” (державний реєстраційний номер 0111U010356), у якій автором розроблено алгоритмічне забезпечення структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей на основі радіально-базисних функцій та наведено приклади застосування цих моделей для задач моніторингу ЗГН.

Усі вищезгадані роботи виконувалися за безпосередньої участі автора.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є зниження ризику пошкодження ЗГН і одночасно скорочення часу проведення операції на щитоподібній залозі шляхом розробки методів, алгоритмів та програмного забезпечення для ідентифікації математичних моделей з радіально-базисними функціями в умовах інтервальної невизначеності та застосування цих моделей для моделювання характеристик середовища моніторингу ЗГН.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно було вирішити такі основні задачі:

- провести аналіз існуючих математичних моделей характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва під час проведення операції на щитоподібній залозі;

- проаналізувати методи структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей на основі аналізу інтервальних даних;

- розробити методи структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей з радіально-базисними функціями на основі аналізу інтервальних даних;

- розробити інтервальні моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН;

- розробити програмний комплекс для реалізації методів структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей із радіально-базисними функціями;

- удосконалити інформаційну технологію виявлення ЗГН із застосуванням розроблених інтервальних моделей характеристик середовища моніторингу ЗГН.

*Об'єкт дослідження* – процеси моніторингу ЗГН на основі аналізу електрофізіологічних властивостей тканин хірургічної рани щитоподібної залози.

*Предмет дослідження* – методи ідентифікації інтервальних моделей на основі радіально-базисних функцій, що описують характеристики середовища хірургічного втручання для моніторингу зворотного гортанного нерва.

**Методи дослідження.** Дослідження, виконані під час роботи ґрунтуються на теорії ідентифікації моделей систем, методах теоретико-множинного (інтервального) підходу, які є основними для досягнення мети дисертаційної роботи. Для розробки методів структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей на основі радіально-базисних функцій використано методи теорії ідентифікації, кластерного та інтервального аналізу даних і лінійної алгебри. Для ідентифікації математичних моделей характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва використано методи інтервального аналізу та лінійного програмування. Для дослідження ефективності розроблених методів структурної та параметричної ідентифікації застосовано комп'ютерне моделювання. Для проектування програмного комплексу реалізації алгоритмів ідентифікації інтервальних моделей із радіально-базисними функціями використано структурно-функціональний підхід, а для його реалізації – компілятор Matlab.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У межах дисертаційної роботи *вперше*:

- розроблено метод ідентифікації інтервальних моделей на основі радіально-базисних функцій, у якому поєднано процедури формування центрів рецепторного поля радіально-базисних функцій та аналізу інтервальних даних, що забезпечує одночасне налаштування структури моделі та одержання гарантованих оцінок її параметрів;

- розроблено інтервальну модель характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва на основі радіально-базисних функцій, яка, на відміну від існуючих, забезпечує оцінку відстані від точки подразнення до зворотного гортанного нерва та уможливорює одночасне зниження ризику пошкодження зворотного гортанного нерва та зменшення часу проведення операції на щитоподібній залозі;

- за допомогою субтрактивного алгоритму кластеризації та аналізу інтервальних даних розроблено інтервальну модель характеристик середовища моніторингу ЗГН за умов неоднорідності вибірки даних у вигляді множини первинних ознак тканин хірургічної рани та відповідних інтервальних оцінок відстаней від точки подразнення до ЗГН, що, на відміну від існуючих, забезпечує побудову єдиної математичної моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН для групи пацієнтів.

- *Удосконалено* інформаційну технологію виявлення зворотного гортанного нерва, яка, на відміну від існуючих, ґрунтується на математичних моделях з

радіально-базисними функціями та забезпечує одночасне зниження ризику пошкодження ЗГН та зменшення часу проведення операції на щитоподібній залозі.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі розроблених методів ідентифікації інтервальних моделей характеристик середовища хірургічного втручання, в основі яких радіально-базисні функції, з використанням компілятора Matlab розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення.

Побудовані інтервальні моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН реалізовано на мові C# у вигляді програмного модуля обчислення інтервальної оцінки відстані від точки подразнення на хірургічній рані до ЗГН і використано в удосконаленій технології для виявлення ЗГН під час операції на щитоподібній залозі.

Розроблену інтервальну модель характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва та удосконалену інформаційну технологію впроваджено у Тернопільській міській комунальній лікарні швидкої допомоги для зниження ризику пошкодження ЗГН та одночасного скорочення часу проведення операції на щитоподібній залозі.

Розроблені методи, алгоритми та програмне забезпечення, в основі яких математичні моделі з радіально-базисними функціями, впроваджено в Тернопільському національному економічному університеті на кафедрі комп'ютерних наук для виконання держбюджетних науково-дослідних робіт, створення методичного та програмного забезпечення для викладання дисциплін "Інтервальні обчислення" та "Інтелектуальний аналіз даних". Використання результатів дисертаційного дослідження підтверджено відповідними актами про впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі результати: [1] – розроблено математичну модель на основі радіально-базисних функцій, яка уможливорює класифікацію тканин хірургічної рани; [2] – розроблено метод ідентифікації інтервальних моделей з радіально-базисними функціями, який поєднує процедури визначення структури моделі вказаного типу та параметрів на основі аналізу інтервальних даних; [3] – розроблено метод параметричної ідентифікації математичних моделей з радіально-базисними функціями на основі аналізу інтервальних даних; [4] – проаналізовано особливості математичних моделей із РБФ, охарактеризовано основні їх переваги, сформульовано задачі досліджень; [8] – розроблено алгоритм ідентифікації інтервальних моделей на основі радіально-базисних функцій; [9] – розроблено алгоритм ідентифікації параметрів математичних моделей радіального типу в межах інтервального підходу; [10] – розроблено алгоритм класифікації тканин середовища хірургічного втручання на основі характеристик сигналів – реакції на подразнення тканин хірургічної рани різних пацієнтів; [13] – розроблено алгоритм визначення параметрів інтервальної моделі на основі радіально-базисних функцій; [17] – проаналізовано задачі, розв'язок яких вимагає побудови математичних моделей з радіально-базисними функціями на основі аналізу інтервальних даних.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких міжнародних

науково-практичних конференціях та всеукраїнських школах-семінарах: XI, XII Міжнародній науково-технічній конференції “Досвід розробки й застосування САПР в мікроелектроніці CADSM’2011, 2013” (Львів – Поляна, 2011, 2013); XI, XII Міжнародних науково-технічних конференціях “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп’ютерної інженерії: TCSET’ 2012, 2014 (Львів – Славськo, 2012, 2014); Міжнародній науково-практичній конференції «Найкращі актуальні дослідження в сучасній науці» (Дубаї, 2015); I Міжнародній науково-технічній конференції “Обчислювальний інтелект” (Черкаси, 2011); III Міжнародній науково-практичній конференції “Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки” (Чернівці, 2013); I, II, III, IV Всеукраїнських школах-семінарах молодих вчених і студентів «Сучасні комп’ютерні інформаційні технології», 2011, 2012, 2013, 2014 (ТНЕУ, Тернопіль, 2011-2014); XI Міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)” (Вінниця, 2012); VII, IX Міжнародній школі-семінарі для молодих науковців «Індуктивне моделювання: теорія і застосування» (с. Жукин, Київська обл., 2014, 2016); на наукових семінарах кафедри комп’ютерних наук Тернопільського національного економічного університету (2010-2016).

**Публікації.** Результати дисертації опубліковані в 21 друкованій праці, загальним обсягом 95 сторінок, зокрема 1 стаття в іноземному періодичному науковому виданні [1], 6 статей у фахових наукових виданнях України [2-7], одна з яких входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus [5], 14 публікацій у матеріалах конференцій [8-21], 2 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus [9, 17].

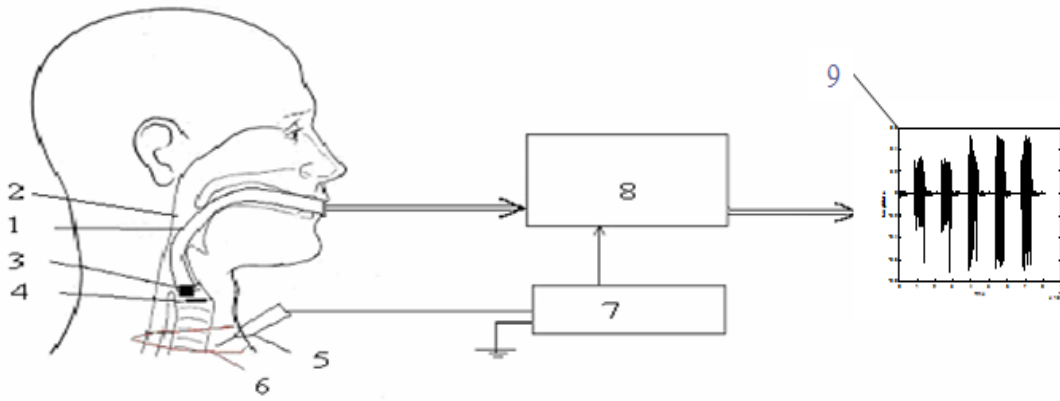
**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 152 найменувань та п’ятьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 146 сторінок машинописного тексту, з них 120 сторінок основного тексту. Робота містить 48 рисунків і 10 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи, визначено об’єкт, предмет і методи дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також наведено відомості про особистий внесок здобувача та апробацію одержаних результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** охарактеризовано особливості середовища моніторингу хірургічного втручання при проведенні операції на щитоподібній залозі. Підкреслено, що основною проблемою під час операції такого типу є виявлення зворотного гортанного нерва з-поміж інших тканин хірургічної рани.

Проаналізовано існуючі технічні засоби моніторингу та спосіб ідентифікації ЗГН на хірургічній рані, які в основному базуються на подразненні області хірургічного втручання постійним електричним струмом і оцінюванні результатів цього подразнення, фіксуючи скорочення голосових зв’язок. Схему отримання інформаційного сигналу наведено на рис. 1.



*1 - дихальна трубка, 2 – гортань, 3 – сенсор звукових коливань, 4 – голосові зв'язки, 5 – щуп, 6 – хірургічна рана, 7 – генератор змінного струму, 8 – підсилювач, 9 – інформаційний сигнал (ІС)*

Рис. 1. Схема отримання інформаційного сигналу для ідентифікації зворотного гортанного нерва

Виділено основні первинні характеристики середовища хірургічного втручання та їх математичні моделі у вигляді спектральних та автокореляційних характеристик звукових сигналів, що опосередковано відображають скорочення голосових зв'язок внаслідок подразнення тканин хірургічної рани. У процесі аналізу встановлено, що такі моделі дають можливість розв'язати тільки задачу класифікації тканин хірургічної рани.

В той же час для скорочення часу моніторингу зворотного гортанного нерва в цілому, важливим є визначення відстані від точок подразнення тканин до ЗГН. Для цих цілей актуальною є розробка математичних моделей середовища хірургічного втручання, спільних для групи пацієнтів, які б відображали місце розміщення ЗГН у залежності від точок подразнення тканин хірургічної рани.

Унаслідок специфіки гортані кожного пацієнта вибірка експериментальних даних для структурної та параметричної ідентифікації такої моделі не є однорідною, тому обґрунтованим є представлення цих даних в інтервальному вигляді.

Далі у цьому розділі здійснено постановку задачі ідентифікації математичних моделей характеристик середовища хірургічного втручання на основі аналізу інтервальних даних і проаналізовано методи її розв'язування. Встановлено, що існуючі методи структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей в умовах інтервальної невизначеності формують складні структури моделей, які не придатні для моделювання в масштабі реального часу характеристик середовища хірургічного втручання і моніторингу зворотного гортанного нерва.

Обґрунтовано доцільність застосування математичних моделей на основі радіально-базисних функцій для представлення характеристик середовища моніторингу ЗГН хірургічної рани із гарантованими прогностичними властивостями, оскільки в процесі структурної ідентифікації зазначені моделі вимагають лише налаштування параметрів рецепторного поля радіально-базисних функцій.

Математичні моделі з РБФ в загальному мають такий вигляд:



$$y = F(\vec{x}) = w_0 + \sum_{i=1}^h w_i \cdot f_i(\|\vec{x} - \vec{c}_i\|_{R_i}), \quad (1)$$

де  $y$  – вихідна характеристика (відстань від точки подразнення до ЗГН);  $\vec{w} = (w_0, w_1, \dots, w_h)^T$  – вектор невідомих параметрів;  $\vec{f}(\bullet) = (1, f_1(\bullet), f_2(\bullet), \dots, f_h(\bullet))$  – вектор радіально-базисних функцій;  $\vec{c}_i$  – вектор центрів радіально-базисних функцій;  $R_i$  – обернена коваріаційна матриця, що визначає форму та орієнтацію рецепторного поля радіально-базисних функцій (в простішому випадку, взамін  $R_i$  використовують одиничну матрицю, помножену на  $\sigma^{-2}$ );  $i=1, \dots, h$ , де  $h$  – кількість невідомих параметрів моделі.

Однак задачі ідентифікації для цього класу моделей з використанням інтервальних даних не досліджено.

У завершальній частині розділу здійснено постановки задач дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** на основі субтрактивного алгоритму кластеризації та аналізу інтервальних даних запропоновано та обґрунтовано інтервальну модель характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва за умов неоднорідності вибірки даних у вигляді множини первинних ознак тканин хірургічної рани та відповідних інтервальних оцінок відстаней від точки подразнення до ЗГН.

Спочатку досліджено процес формування вибірки вхідних даних для задачі ідентифікації моделей. Схему отримання первинних характеристик середовища хірургічного втручання показано на рис. 2.

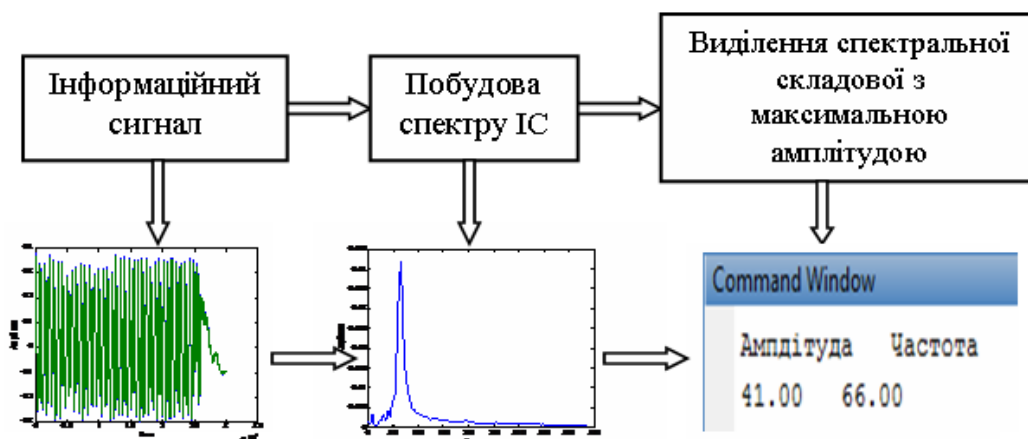


Рис. 2. Схема отримання первинних характеристик середовища хірургічного втручання

Встановлено, що спектральні характеристики інформаційних сигналів – реакції на подразнення тканин хірургічної рани, а саме амплітуда  $U_{\max}$  основної спектральної складової та частота  $F_{U_{\max}}$ , на якій зосереджена ця спектральна складова, є лише первинними характеристиками середовища хірургічного втручання, придатними тільки для класифікації тканин хірургічної. Разом з тим запропоновано їх застосувати для побудови єдиної математичної моделі

характеристики середовища моніторингу зворотного гортанного нерва для групи пацієнтів, що забезпечувала б визначення відстані від точок подразнення тканини до ЗГН.

Дослідження інформаційних сигналів, отриманих у процесі операцій на щитоподібній залозі показали, що внаслідок індивідуальних особливостей гортані кожного пацієнта та їх різноманітної анатомічної будови щитоподібної залози зв'язок між первинними характеристиками середовища хірургічного втручання  $x_{1k} = U_{\max}$ ,  $x_{2k} = F_{U_{\max}}$  та відстанню  $y_k$  від  $k$ -тої точки подразнення тканини до ЗГН для групи пацієнтів не є чітким. Для його опису у роботі запропоновано та обґрунтовано використання *інтервальної моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН у вигляді множини первинних ознак тканин хірургічної рани*  $x_{1k} = U_{\max}$ ,  $[y_k] x_{2k} = F_{U_{\max}}$  та відповідних *інтервальних оцінок*  $[y_k^-; y_k^+]$  відстаней від точки подразнення до ЗГН, спільних для групи пацієнтів, що забезпечує побудову єдиної математичної моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН для групи пацієнтів.

Нехай у процесі моніторингу зворотного гортанного нерва сформовано вибірку даних:

$$\{x_{1k}, x_{2k}, k = 1, \dots, N\} \rightarrow \{[y_k], k = 1, \dots, N\}, \quad (2)$$

де  $x_{1k}, x_{2k}, k = 1, \dots, N$  – набори первинних ознак середовища (тканини) хірургічного втручання у  $k$ -й точці подразнення (амплітуда  $U_{\max}$  основної спектральної складової та частота  $F_{U_{\max}}$ );  $[y_k], k = 1, \dots, N$  – інтервальні оцінки відстаней від  $k$ -ї точки подразнення до ЗГН.

З використанням субтрактивного алгоритму кластеризації, проведемо кластерний аналіз наборів нормованих первинних ознак середовища хірургічного втручання у вибірці (2). У результаті отримаємо  $k$  подібних груп з центрами  $\bar{x}_{1k}, \bar{x}_{2k}$  та заданим радіусом  $r$ . Відсортуємо у вибірці (2)  $k$  груп даних за ознакою:

$$\sqrt{(\bar{x}_{1k} - \bar{x}_{1k})^2 + (\bar{x}_{2k} - \bar{x}_{2k})^2} \leq r, \quad (3)$$

де  $\bar{x}_{1k}, \bar{x}_{2k}$  – нормовані до «1» набори первинних ознак середовища хірургічного втручання,  $r$  – деяка константа, задана емпірично в межах  $0, 1 \leq r \leq 0,5$ .

У підсумку, отримаємо  $k$  подібних груп вибірки (2):

$$\begin{aligned} \{\bar{x}_{1k}, \bar{x}_{2k}, k = 1, \dots, N_1\} &\rightarrow \{[y_k], k = 1, \dots, N_1\}, \\ \{\bar{x}_{1k}, \bar{x}_{2k}, k = N_{k-1}, \dots, N_k\} &\rightarrow \{[y_k], k = N_{k-1}, \dots, N_k\}, \dots, \\ \{\bar{x}_{1k}, \bar{x}_{2k}, k = N_{K-1}, \dots, N_K\} &\rightarrow \{[y_k], k = N_{K-1}, \dots, N_K\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Тепер, користуючись отриманими наборами даних (4) сформуємо вибірку інтервальних даних нормованих первинних ознак середовища хірургічного втручання у такий спосіб:

$$\{\bar{x}_{11}, \bar{x}_{21}\} \rightarrow \left\{ \bigcup_{k=1}^{N_1} [y_k] \right\}, \{\bar{x}_{1k}, \bar{x}_{2k}, k = 2, \dots, K\} \rightarrow \left\{ \bigcup_{k=N_{k-1}+1}^{N_k} [y_k] \right\}, k = 2, \dots, K. \quad (5)$$

Варто зазначити, що константу  $r$  необхідно ітераційно підбирати таким чином, щоб результуючі інтервали  $\bigcup_{k=1}^{N_1} [y_k]$ ,  $\bigcup_{k=N_{k-1}+1}^{N_k} [y_k]$ ,  $k = 2, \dots, K$  у виразі (5) були не перервними.

Далі у цьому розділі наведено алгоритм побудови інтервальної моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН та приклад його реалізації.

У **третьому розділі** запропоновано та обґрунтовано метод ідентифікації математичних моделей характеристик середовища хірургічного втручання для випадку представлення структурних елементів цих моделей у вигляді радіально-базисних функцій та на основі аналізу інтервальних даних.

Нехай залежність між вихідною характеристикою та вхідними змінними об'єкта представлено у вигляді виразу (1), вибірку результатів експерименту представлено в інтервальному вигляді:

$$\{x_{1k}, \dots, x_{2k}, k = 1, \dots, K\} \rightarrow \{[y_k], k = 1, \dots, K\}. \quad (6)$$

Поставимо умову, щоб

$$\hat{y}_k \in [y_k], \forall k = 1, \dots, K, \quad (7)$$

де  $\hat{y}_k$  – значення, які обчислені з виразу (1) для заданих наборів  $\{x_{1k}, \dots, x_{2k}, k = 1, \dots, K\}$ .

Одночасно у виразі (1) невідомими є характеристики рецепторного поля радіально-базисних функцій та вектор параметрів  $\vec{w}$ . Для їх обчислення скористаємося вищезазначеною умовою (7). У результаті, одержимо:

$$y_k^- \leq w_0 + \sum_{i=1}^h w_i \cdot f_i(\|\vec{x}_k - \vec{c}_i\| R_i) \leq y_k^+, k = 1, \dots, K. \quad (8)$$

Отримана система є інтервальною системою лінійних алгебричних рівнянь (ІСЛАР) відносно невідомих параметрів  $\vec{w}$  і також системою із невідомими характеристиками рецепторних полів РБФ та їх кількістю.

Згідно з отриманою ІСЛАР (7), у дисертаційній роботі *розроблено метод ідентифікації інтервальних моделей на основі радіально-базисних функцій, у якому поєднано процедури формування центрів рецепторного поля радіально-базисних функцій та аналізу інтервальних даних, що забезпечує одночасне налаштування структури моделі та одержання гарантованих оцінок її параметрів.*

Суть методу полягає в ітераційному налаштуванні параметрів рецепторного поля у вигляді  $\vec{c}_i$ ,  $R_i$  та перевірки сумісності ІСЛАР (8). Таке налаштування здійснюємо до того часу, поки ІСЛАР (8) не стане сумісною. Після завершення процедури налаштування параметрів рецепторного поля радіально-базисних функцій обчислюємо в одній процедурі інтервальні оцінки  $[\vec{w}]$  параметрів моделі.

Для визначення кількості РБФ в моделі та налаштування параметрів їх рецепторних полів запропоновано та обґрунтовано використати метод «гірської» кластеризації, враховуючи вибірку вхідних змінних  $\{x_{1k}, \dots, x_{2k}, k = 1, \dots, K\}$ .

Перевірка адекватності поточної структури моделі з РБФ, сформованої на поточній ітерації з використанням кластерного аналізу із заданими налаштуваннями (радіусом кластера) полягає в перевірці на сумісність ІСЛАР (8). У відомих методах

інтервального аналізу обґрунтовано, що ІСЛАР (8) є сумісною, якщо існує розв'язок такої задачі лінійного програмування:

$$w_i \rightarrow \min(\max) \quad (9)$$

за умов (8).

У випадку існування розв'язку задачі (9) продовжуємо пошук інтервальних оцінок усіх параметрів  $w_i, i=1, \dots, h$ . Причому  $w_i^- = \operatorname{argmin}(w_i)$ ,  $w_i^+ = \operatorname{argmax}(w_i)$  за умови (8). Якщо розв'язок задачі лінійного програмування (9) відсутній, то необхідно зменшити радіус кластера та перейти до ітерації налаштування параметрів рецепторних полів. У такий спосіб також відбувається ускладнення структури моделі. На рис. 3 наведено блок-схему реалізації методу ідентифікації інтервальної моделі з компонентами у вигляді РБФ.

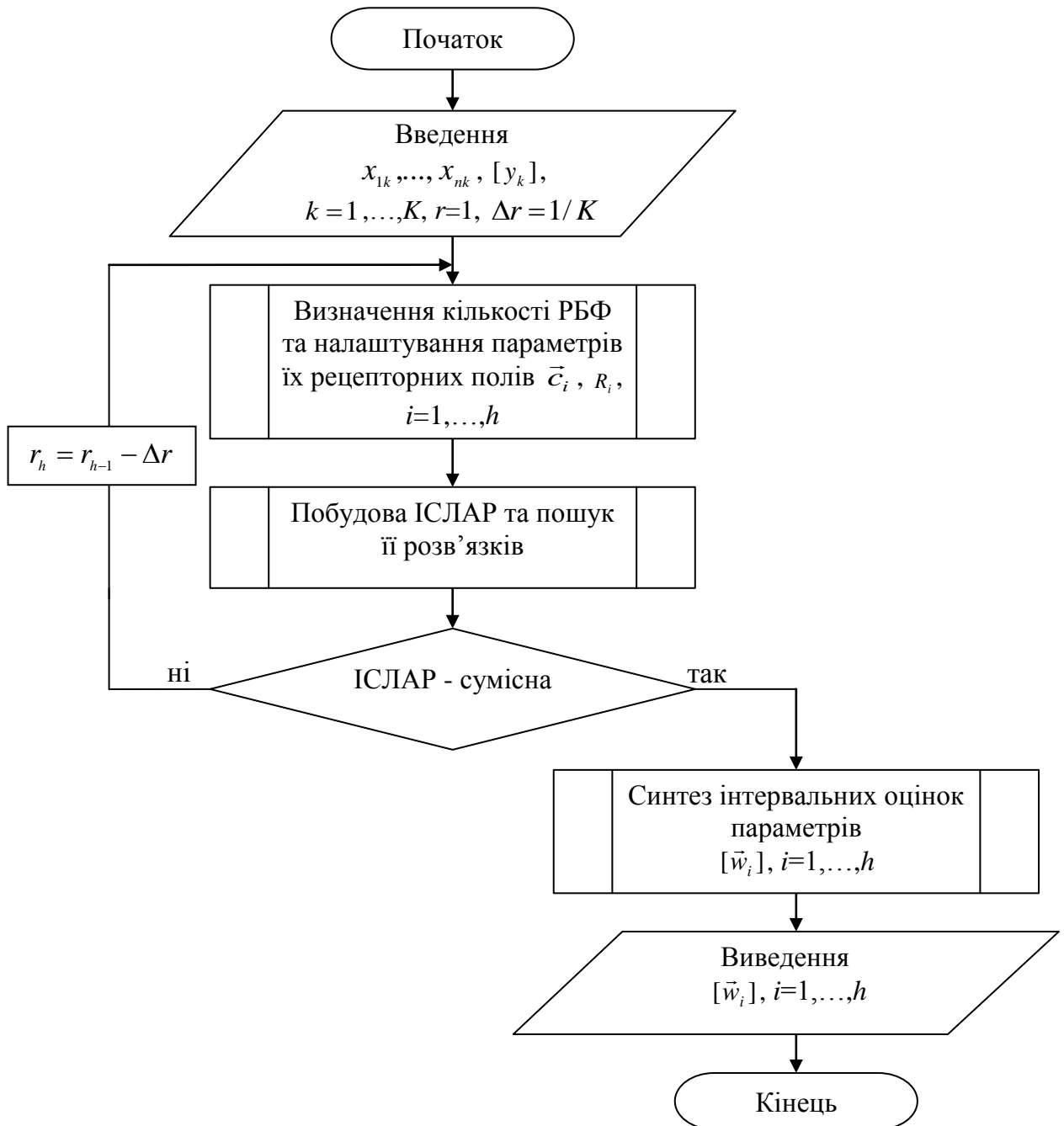


Рис. 3. Блок - схема алгоритму ідентифікації інтервальних моделей з РБФ

Параметр кроку  $\Delta r$ , який визначає кількість ітерацій  $h$  обчислювальної схеми реалізації методу структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей із радіально-базисними функціями визначено із умови обов'язкового забезпечення сумісності ІСЛАР:  $\Delta r = 1/K$ , якщо  $r=1$ , а  $K$  – загальна кількість інтервальних даних.

У дисертаційній роботі також розглянуто більш складніші схеми налаштування параметрів  $\Delta r_h$ , в залежності від яких змінюється обчислювальна складність реалізації методу ідентифікації інтервальних моделей з РБФ, зокрема шляхом половинного поділу –  $\Delta r_h = \frac{\Delta r_{h-1}}{2}$ .

У результаті реалізації методу отримуємо коридор інтервальних моделей у такому вигляді:

$$[\hat{y}] = \left[ \min \left\{ \sum_{i=1}^h w_i^- \cdot f_i(\|\bar{x} - \bar{c}_i\| \cdot R_i); \sum_{i=1}^h w_i^+ \cdot f_i(\|\bar{x} - \bar{c}_i\| \cdot R_i) \right\}; \right. \\ \left. \max \left\{ \sum_{i=1}^h w_i^- \cdot f_i(\|\bar{x} - \bar{c}_i\| \cdot R_i); \sum_{i=1}^h w_i^+ \cdot f_i(\|\bar{x} - \bar{c}_i\| \cdot R_i) \right\} \right]. \quad (10)$$

Далі у роботі описано властивості побудованих інтервальних моделей з РБФ з точки зору розв'язування задачі моніторингу ЗГН на хірургічній рані. Відзначено, що математичні моделі з РБФ прості в оперуванні внаслідок особливостей структурної ідентифікації. Точність інтервальної моделі з РБФ визначаємо як різницю меж коридору прогнозування (10).

У завершальному підрозділі третього розділу наведено результати розробки програмного комплексу для реалізації розробленого методу ідентифікації інтервальних моделей характеристик середовища хірургічного втручання для випадку представлення структурних елементів цих моделей у вигляді радіально-базисних функцій. Для реалізації програмного комплексу використано компілятор Matlab.

Ефективність розробленого методу, алгоритму та програмного комплексу проілюстровано на прикладі ідентифікації інтервальної моделі для прогнозування індикаторів економічної безпеки Тернопільської області. Незважаючи на високу розмірність задачі (16 індикаторів, 8 факторів впливу та вибірку інтервальних даних в кількості 72) усі отримані моделі мають достатні гарантовані прогностичні властивості. Найбільша похибка прогнозування із використанням побудованої моделі дорівнює 18,8%.

У **четвертому розділі** наведено результати застосування розроблених методів, алгоритмів та програмного комплексу для ідентифікації інтервальної моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН нерва на основі радіально-базисних функцій, та використання цієї моделі в удосконаленій інформаційній технології моніторингу ЗГН. Схему *удосконаленої інформаційної технології для виявлення зворотного гортанного нерва*, наведено на рис. 4.

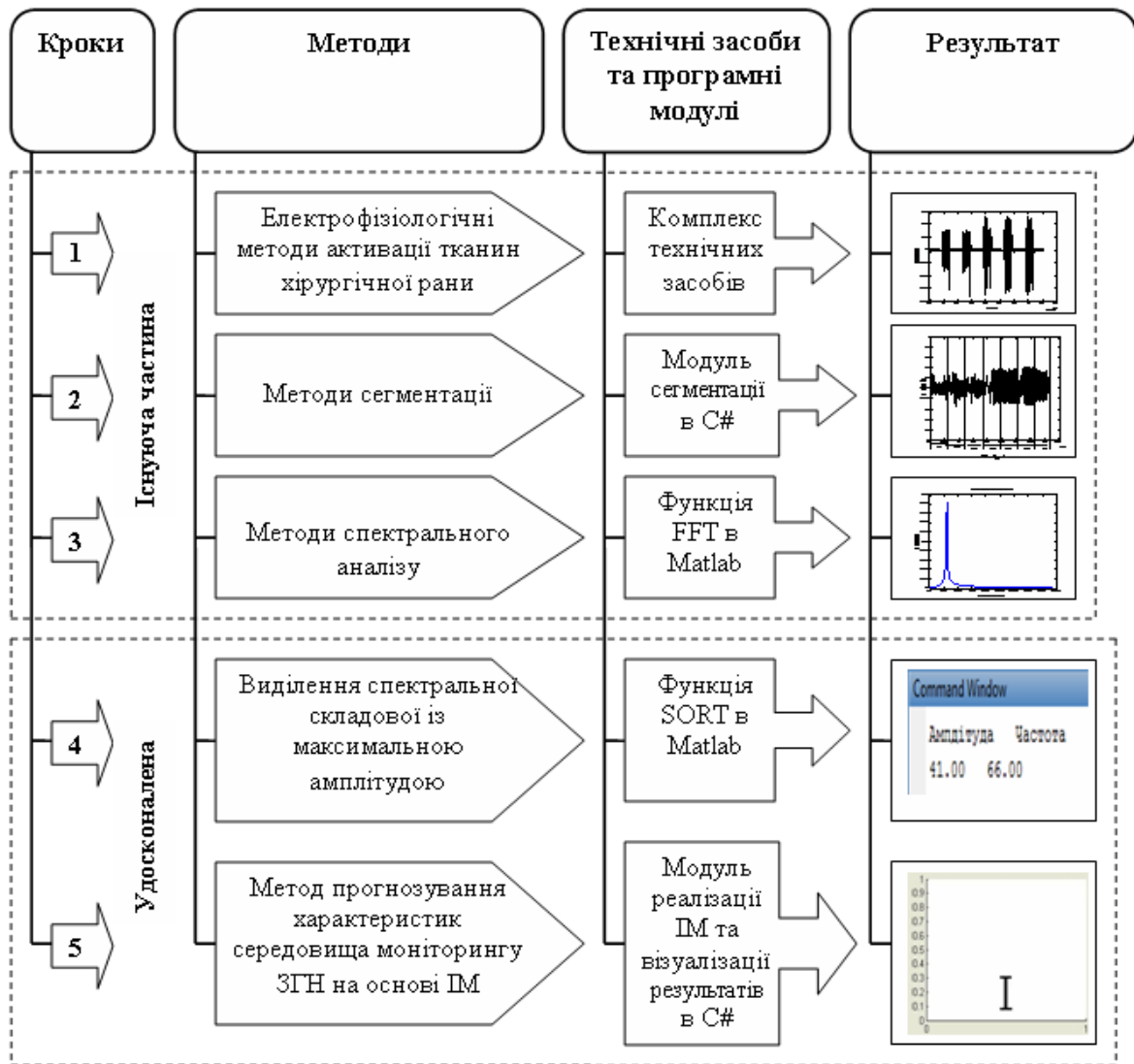


Рис. 4. Схема удосконаленої інформаційної технології для виявлення ЗГН під час операції на щитоподібній залозі

Як бачимо, в удосконаленій технології наявний модуль реалізації інтервальної моделі характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва на основі радіально-базисних функцій, що забезпечує одночасне зниження ризику пошкодження ЗГН та зменшення часу проведення операції на щитоподібній залозі.

Далі в цьому розділі розглянуто розроблений програмний комплекс для реалізації методу структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей із радіально-базисними функціями, а також проведено його апробацію для побудови інтервальної моделі характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва.

На основі вибірки з-понад трьох тис. фрагментів інформаційних сигналів із застосуванням субтрактивного алгоритму кластеризації та аналізу інтервальних даних отримано інтервальні моделі первинних характеристик середовища моніторингу ЗГН та сформовано таблицю, фрагмент, якої наведено в табл. 1.

Як бачимо, сформована таблиця містить 100 наборів інтервальних даних.

Таблиця 1. Первинні характеристики тканин середовища моніторингу ЗГН

$k$	Спектральні характеристики ІС		Відстань до ЗГН $[y_k^-; y_k^+]$	$k$	Спектральні характеристики ІС		Відстань до ЗГН $[y_k^-; y_k^+]$
	$U_{\max}$	$F_{U_{\max}}$			$U_{\max}$	$F_{U_{\max}}$	
	$x_1$	$x_2$			$x_1$	$x_2$	
1	162.14	88.20	[0.1;0.3]	51	82.17	8.82	[0.8;1]
2	11.48	321.52	[0.1;0.3]	52	94.13	13.23	[0.6;0.8]
3	143.14	74.97	[0.1;0.3]	53	101.29	8.82	[0.8;1]
⋮							
49	45.10	74.98	[0.3;0.6]	99	75.24	392.49	[0.1;0.3]
50	24.24	123.48	[0.3;0.6]	100	64.58	246.08	[0.1;0.3]

У процесі досліджень із застосуванням методу структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей з РБФ, на основі інтервальних даних із табл. 1 отримано інтервальну модель характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва на основі радіально-базисних функцій, що, на відміну від існуючих, забезпечує оцінку відстані від точки подразнення до ЗГН :

$$[\hat{y}] = f_1(\|\bar{x} - \bar{c}_1\| \sigma^{-2}) \cdot [2,239; 2,321] + f_2(\|\bar{x} - \bar{c}_2\| \sigma^{-2}) \cdot [0,002; 0,084] + f_3(\|\bar{x} - \bar{c}_3\| \sigma^{-2}) \cdot [0,774; 0,783] + f_4(\|\bar{x} - \bar{c}_4\| \sigma^{-2}) \cdot [-1,973; -0,091], \quad (11)$$

де  $\bar{c}_1 = (0,414; 0,04 \ 4)$ ;  $\bar{c}_2 = (0,101; 0,70 \ 1)$ ;  $\bar{c}_3 = (0,004; 0,001 \ )$ ;  $\bar{c}_4 = (0,83; 0,211 \ )$ ;  $\sigma = 0,141$ .

Верифікацію розробленої математичної моделі характеристик середовища оперативного втручання проведено на численних прикладах. Зокрема на рис. 6 наведено 7 фрагментів інформаційного сигналу, що відповідає сімом точкам подразнення хірургічної рани.

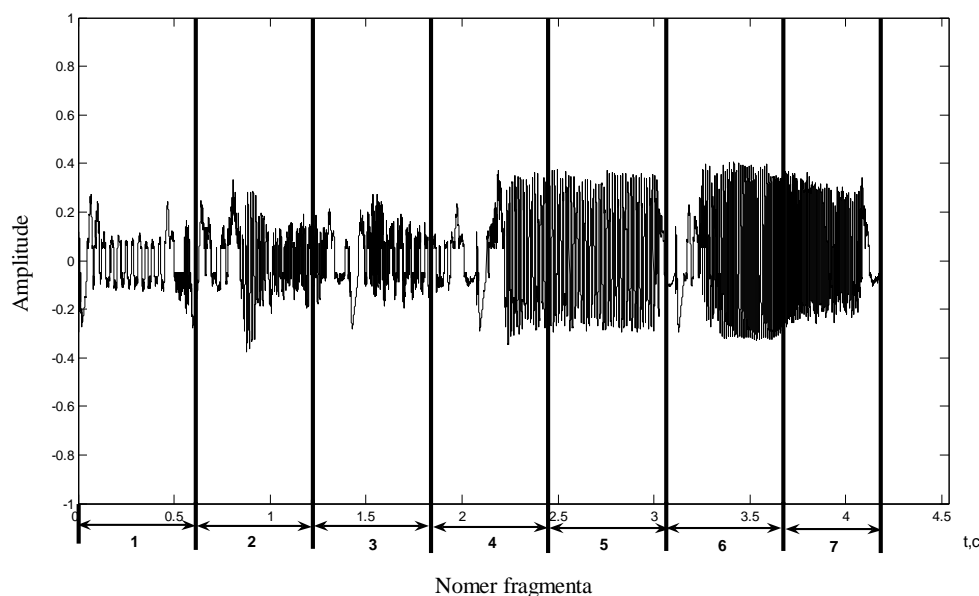


Рис. 6. Фрагменти ІС – реакції на подразнення тканин хірургічної рани

У результаті застосування отриманої моделі (11) спрогнозовано інтервальні оцінки відстані від точки подразнення на хірургічній рані до зворотного гортанного нерва. Отримані результати наведено на рис. 7, а). Для порівняння на рис. 7, б) наведено результати застосування відомої моделі класифікації тканин хірургічної рани, де 0 означає результат класифікації – «зворотний гортанний нерв», а 1 – «м'язова тканина». У точці подразнення хірургічної рани, яка відповідає другому фрагменту інформаційного сигналу, відомою моделлю класифікації тканин середовища хірургічного втручання сформовано хибний результат.

Як бачимо з рис. 7, застосування розробленої моделі дає більш інформативне представлення про розміщення точки подразнення на хірургічній рані, до того ж зменшує ризик хибної класифікації (фрагмент 2).

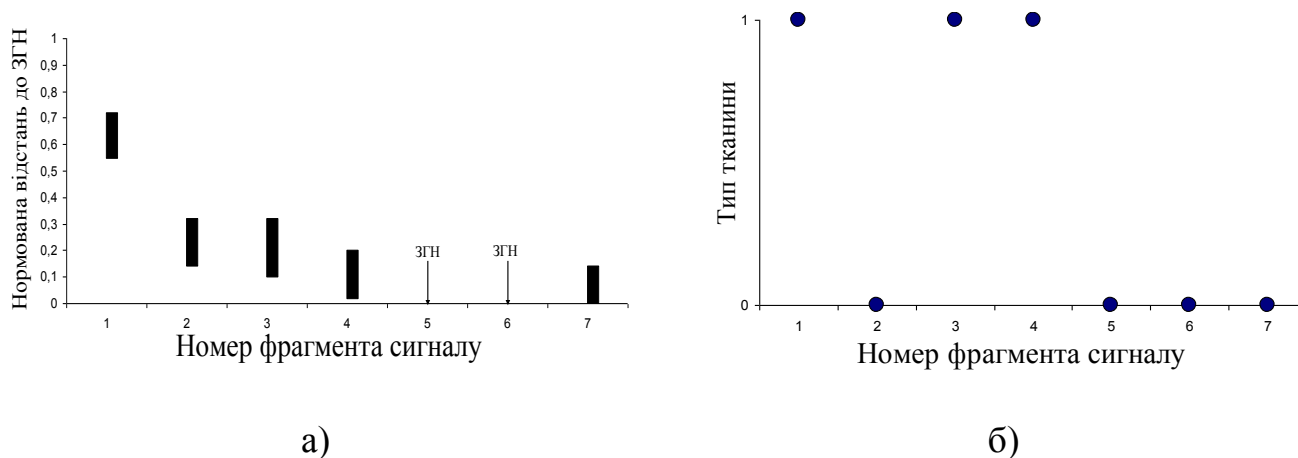


Рис. 7. Результати виявлення зворотного гортанного нерва на основі: а) розробленої математичної моделі; б) існуючої для класифікації тканин хірургічної рани

У завершальній частині четвертого розділу наведено результати оцінювання ефективності удосконаленої інформаційної технології для моніторингу ЗГН.

На вибірці із 120 пацієнтів показано, що на основі розробленої інтервальної моделі з радіально-базисними функціями як моделі характеристик середовища хірургічного втручання ризик пошкодження зворотного гортанного нерва знижується на 4 %, а час на моніторинг зворотного гортанного нерва зменшується на 19 %, що підтверджено довідкою про впровадження результатів дисертаційного дослідження у Тернопільській міській комунальній лікарні швидкої допомоги.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-прикладне завдання розробки методів структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей із радіально-базисними функціями в умовах інтервальної невизначеності та застосування цих моделей для моделювання характеристик середовища моніторингу ЗГН з метою зниження ризику його пошкодження і одночасно скорочення часу проведення операції на щитоподібній залозі за рахунок скорочення часу моніторингу ЗГН.



При цьому отримано такі наукові та практичні результати:

1. Встановлено, що існуючі математичні моделі характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва придатні тільки для розв'язування задач класифікації тканин хірургічної рани, проте для скорочення часу моніторингу ЗГН у цілому важливою є розробка математичних моделей середовища хірургічного втручання, спільних для групи пацієнтів, що відображали б місце розміщення ЗГН у залежності від точок подразнення тканин хірургічної рани. Показано, що внаслідок специфіки гортані кожного пацієнта, вибірка експериментальних даних для структурної та параметричної ідентифікації таких моделей не є однорідною, тому обґрунтовано її представлення в інтервальному вигляді.

2. Проаналізовано існуючі методи структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей на основі аналізу інтервальних даних. Встановлено, що існуючі методи мають високу обчислювальну складність реалізації і формують складні структури моделей, які не придатні для моделювання характеристик середовища хірургічного втручання і моніторингу ЗГН. Обґрунтовано для цих цілей використання математичних моделей зі структурними елементами у вигляді радіально-базисних функцій.

3. Розроблено новий метод ідентифікації інтервальних моделей на основі радіально-базисних функцій, в якому поєднано процедури формування центрів рецепторного поля радіально-базисних функцій та аналізу інтервальних даних. Таке поєднання забезпечує одночасне налаштування структури моделі та одержання гарантованих оцінок її параметрів, що у сукупності знижує обчислювальну складність реалізації структурної ідентифікації.

4. Розроблено інтервальну модель характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва на основі радіально-базисних функцій, яка прогнозує відстань від точки подразнення до зворотного гортанного нерва та на вибірці із 100 пацієнтів уможливорює одночасне зниження ризику пошкодження зворотного гортанного нерва та зменшення часу проведення операції на щитоподібній залозі.

5. Із застосуванням субтрактивного алгоритму кластеризації та аналізу інтервальних даних розроблено інтервальну модель характеристик середовища моніторингу ЗГН за умов неоднорідності вибірки даних, яка представлена у вигляді множини первинних ознак тканин хірургічної рани та відповідних інтервальних оцінок відстаней від точки подразнення до ЗГН, що, на відміну від існуючих, уможливорює побудову єдиної математичної моделі характеристик середовища моніторингу ЗГН для групи пацієнтів.

6. Розроблено модульну архітектуру та UML – моделі програмного комплексу для реалізації методів структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей із радіально-базисними функціями, який використано на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету для створення методичного та програмного забезпечення та виконання науково-дослідних робіт, що підтверджено довідками про впровадження.

7. Із застосуванням програмно реалізованих інтервальних моделей характеристик середовища хірургічного втручання удосконалено інформаційну технологію виявлення зворотного гортанного нерва. На вибірці із 50 пацієнтів показано, що застосування запропонованої інформаційної технології знижує ризик пошкодження ЗГН на 4 % та одночасно скорочує час моніторингу ЗГН на 19 % під час операції на щитоподібній залозі, що підтверджено довідкою про впровадження в Тернопільській міській комунальній лікарні швидкої допомоги.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Savka N. Intelligent classifier based on radial basis function network for the task of identification the recurrent laryngeal nerve in a surgical wound / N. Savka, M. Dyvak, A. Pukas, V. Nemish // Journal of Applied Computer Science. – Łódź, Poland : Technical University Press, 2014. – V. 22, № 2. – P. 55-64.

2. Савка Н. Я. Інтервальні моделі з радіально-базисними функціями для задачі виявлення розміщення зворотного гортанного нерва / Н. Я. Савка, О. Л. Козак // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2015. – Т. 19. – С. 89-102.

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

4. Савка Н. Я. Проблеми ідентифікації штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями та можливі напрямки їх розв'язання / Н. Я. Савка, В. М. Спільчук, І. Я. Співак // Індуктивне моделювання складних систем. – 2010. – Вип. 2. – С. 181-193.

5. Савка Н. Я. Застосування методу ідентифікації параметрів математичної моделі із РБФ на основі аналізу інтервальних даних для виявлення зворотного гортанного нерва / Н. Я. Савка // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : Міжнародний науково-технічний журнал. – Хмельницький, 2014. – № 1. – С. 153-158.

6. Савка Н. Я. Класифікатор на базі штучних нейронних мереж радіального типу / Н. Я. Савка // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія : Комп'ютерні системи та компоненти. – Чернівці, 2013. – Том 4. – Вип. 4. – С. 22-27.

7. Савка Н. Я. Моделювання індикаторів економічної безпеки держави засобами радіальних штучних нейронних мереж ідентифікованих методами аналізу інтервальних даних / Н. Я. Савка // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Науковий журнал. – Вінниця, 2013. – №1. – С. 37-44.

8. Савка Н. Я. Структурно-параметрична ідентифікація інтервальних моделей

з радіально-базисними функціями / Н. Я. Савка, О. Л. Козак, І. П. Струбицька // The Top Actual Researches in Modern Science : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “World Science”. – Dubai : Roast Publishing, 2015. – Vol. I. – P. 17-22.

9. Savka N. The method of identifying weights of artificial neural networks with radial basis functions based on multiple-set approach / N. Savka, V. Nemish, O. Kushnir // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer science (TCSET'2012): Proceedings of the XI th International Conference. – Lviv-Slavske, 2012. – P. 392.

10. Savka N. Intellectual classifier based on artificial neural networks with RBF to detect reverse laryngeal nerve / N. Savka, V. Nemish, V. Spilchuk // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2013): Proceedings of the XIIth International Conference. – Lviv, 2013. – P. 314-315.

11. Савка Н. Я. Застосування штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями для виявлення відстані до зворотного гортанного нерва на хірургічній рані / Н. Я. Савка // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ'2013): Матеріали III Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. – Тернопіль : ТНЕУ, 2013. – С. 51-52.

12. Савка Н. Я. Локалізація зворотного гортанного нерва на хірургічній рані із застосуванням штучних нейронних мереж радіального типу / Н. Я. Савка // Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки : Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції. – Чернівці : ЧНУ, 2013. – С. 82.

13. Savka N. Algorithm for identification of weighting coefficients of artificial neural networks with RBF for the task of detecting laryngeal nerve in surgical wound / N. Savka, M. Dyvak, I. Strubytska, V. Spilchuk // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer science (TCSET'2014): Proceedings of the XI th International Conference. – Lviv-Slavske, 2014. – P. 92.

14. Савка Н. Я. Програмна реалізація модуля класифікації на основі інтервальних моделей із РБФ для задачі виявлення гортанного нерва / Н. Я. Савка // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ'2014): Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. – Тернопіль : ТНЕУ, 2014. – С. 38-40.

15. Савка Н. Я. Етапи ідентифікації штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями / Н. Я. Савка // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ'2011): Матеріали I Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. – Тернопіль : ТНЕУ, 2011. – С. 87.

16. Савка Н. Я. Методи ідентифікації штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями / Н. Я. Савка // Обчислювальний інтелект : Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції, Черкаси, 2011. – С. 120-121.

17. Dyvak M. Identification of artificial neural networks with radial basis functions by methods of interval data analysis / M. Dyvak, N. Savka // The Experience of Designing

and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2011) : Proceedings of the XI<sup>th</sup> International Conference – Lviv , 2011. – P. 304.

18. Савка Н. Я. Синтез оптимальної архітектури штучної нейронної мережі з радіально-базисними функціями для моделювання індикаторів економічної безпеки Тернопільської області / Н. Я. Савка // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012) : Матеріали XI Міжнародної конференції. – Вінниця : ВНТУ. – С. 257-258.

19. Савка Н. Я. Моделювання індикаторів економічної безпеки Тернопільської області із застосуванням штучних нейромереж радіального типу на основі методів аналізу інтервальних даних / Н. Я. Савка // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ'2012): Матеріали I Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. – Тернопіль : ТНЕУ, 2012.– С. 49-50.

20. Савка Н. Я. Застосування штучних нейронних мереж з радіально-базисними функціями для вирішення актуальних задач сьогодення / Н. Я. Савка // Транскордонне співробітництво як важлива складова євроінтеграційних процесів України : Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернівці, 2010. – С. 437-440.

21. Савка Н. Я. Математичне моделювання за допомогою штучних нейронних мереж / Н. Я. Савка // Світова економічна криза: причини, наслідки та перспективи подолання: Матеріали міжнародної наукової студентсько-аспірантської конференції. – Львів, 2010. – С. 505-506.

## АНОТАЦІЇ

**Савка Н. Я. Методи ідентифікації інтервальних моделей характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2017.

У дисертації вирішено актуальне науково-прикладне завдання розробки методів, алгоритмів та програмного комплексу для структурної і параметричної ідентифікації математичних моделей із радіально-базисними функціями в умовах інтервальної невизначеності.

Застосування розроблених методів дало змогу створити ряд інтервальних моделей характеристик середовища моніторингу зворотного гортанного нерва.

Наведено результати застосування розроблених моделей у складі удосконаленої інформаційної технології для моніторингу зворотного гортанного нерва в процесі операції на щитоподібній залозі. Показано, що застосування удосконаленої інформаційної технології знижує ризик пошкодження зворотного

гортанного нерва і одночасно скорочує час проведення операції за рахунок скорочення часу його моніторингу.

*Ключові слова:* математична модель, структурна та параметрична ідентифікація, інтервальні дані, радіально-базисні функції, моніторинг зворотного гортанного нерва.

**Савка Н. Я. Методы идентификации интервальных моделей характеристик среды мониторинга возвратного гортанного нерва.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы. – Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2017.

В диссертации решено актуальное научно-прикладное задание разработки методов, алгоритмов и программного комплекса для структурной и параметрической идентификации математических моделей с радиально-базисными функциями в условиях интервальной неопределенности.

Применение разработанных методов позволило создать ряд интервальных моделей характеристик среды мониторинга возвратного гортанного нерва.

Приведены результаты применения разработанных моделей в составе усовершенствованной информационной технологии мониторинга возвратного гортанного нерва в процессе операции на щитовидной железе. Показано, что применение усовершенствованной информационной технологии снижает риск повреждения возвратного гортанного нерва и одновременно сокращает время проведения операции, за счет сокращения времени его мониторинга.

*Ключевые слова:* математическая модель, структурная и параметрическая идентификация, интервальные данные, радиально-базисные функции, мониторинг возвратного гортанного нерва.

**Savka N. Methods of identification interval models the characteristics of the environment monitoring recurrent laryngeal nerve.** – On the right of manuscript.

Thesis for a Ph.D degree in Technical Sciences in specialty 01.05.02 – mathematical modeling and computational methods. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

In the thesis the topical scientific and technical problem of development of mathematical models of characteristics of environment monitoring of recurrent laryngeal nerve is solved. These models provide the distance from the point irritation of surgical wound to the recurrent laryngeal nerve.

The analysis of the known mathematical models monitoring of the recurrent laryngeal nerve is provided. The features of methods of structural and parametric identification of mathematical models based on analysis of interval data are analyzed.

The features of carrying out the experiment in order to get sample spectral characteristics of the signal – the reaction to the tissue irritation are described. These characteristics are maximum amplitude of spectral component and frequency on which it is located.

Interval model of representation of distance from the point irritation of surgical wound to the recurrent laryngeal nerve is built.

Method of structural and parametric identification of mathematical models with radial basis functions in terms of interval uncertainty is developed. The algorithm of method realization is shown.

The task of forecasting indicators of economic security of the region is solved, based on the method and algorithm identification of interval models with radial basis functions.

On the basis of the method and algorithm identification of interval models with radial basis functions the task of forecasting indicators of economic security of the region is solved.

The features of the developed interval models with radial basis functions for monitoring the problems of the recurrent laryngeal nerve are described. The features of models with radial basis functions are illustrated.

The software package based on the method of identification of mathematical models with radial basis functions under conditions of interval uncertainty is developed. The module architecture and UML-diagram of the software system are introduced.

The information technology of detection of the recurrent laryngeal nerve during surgery on the thyroid gland by module of interval estimation the distance from the point of irritation to the recurrent laryngeal nerve is improved.

The results of modeling prove the efficiency of the interval model characteristics of environment of surgical procedure and informational technology improved on its basis for the detection of the recurrent laryngeal nerve during surgery on the thyroid gland.

*Key words:* mathematical model, structural and parametric identification, interval data, radial basis functions, monitoring recurrent laryngeal nerve.

Підписано до друку 22.02.2017 р.  
Формат 60×84/16. Папір офсетний.  
Друк офсетний. Зам. № 5-239  
Умов.-друк. арк. 0,9 Обл.-вид. арк. 1,0  
Тираж 100 прим.

Віддруковано ФО-П Шпак В. Б.  
Свідоцтво про державну реєстрацію В02 № 924434 від 11.12.2006 р.  
Свідоцтво платника податку: Серія Е № 897220  
м. Тернопіль, вул. Просвіти, 6.  
тел. 8 097 299 38 99  
E-mail: tooums@ukr.net