

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Падлецька Наталія Ігорівна

УДК 004.942

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ
ВИЯВЛЕННЯ ЗВОРОТНОГО ГОРТАННОГО НЕРВА**

01.05.03 – математичне та програмне забезпечення
обчислювальних машин і систем

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету 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
Литвин Василь Володимирович
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів,
завідувач кафедри інформаційних систем та мереж Інституту
комп'ютерних наук та інформаційних технологій;

кандидат технічних наук, доцент
Шпортько Олександр Володимирович,
Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне,
доцент кафедри економічної кібернетики

Захист відбудеться «03» листопада 2016 р. о 16⁰⁰ 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 в науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий «___» _____ 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



Р. А. Бунь

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Кількість хворих в Україні, прооперованих з приводу раку щитоподібної залози, невпинно зростає і щорічно складає понад 2400 осіб. Найбільш поширеним післяопераційним ускладненням є травма зворотного гортанного нерва (ЗГН), тому актуальним завданням є застосування програмно-технічних комплексів для зниження ризику його пошкодження. Основним завданням, зазначених комплексів, є моніторинг області хірургічного втручання в процесі операції з метою виявлення розміщення ЗГН і, у такий спосіб, уникнення його пошкодження.

На I Всесвітньому конгресі нейромоніторингу в щитоподібній та прищитоподібній хірургії, який відбувся в Кракові у вересні 2015 року, систематизовано представлено способи, технічні та програмні засоби виявлення розміщення ЗГН на хірургічній рані. Основним принципом функціонування таких засобів є подразнення тканин хірургічної рани постійним чи змінним електричним струмом і фіксація та програмне опрацювання результатів подразнення з метою виявлення інформативних ознак типу тканин. Під час розроблення програмного забезпечення важливими є математичні моделі інформативних ознак тканин області хірургічного втручання. У працях Riddell V, Galivan J, Basmajian J, Davis WE розглянуто методи, засоби та математичні моделі для виявлення ЗГН. Створено ряд програмно-технічних комплексів для його моніторингу, серед яких варто відзначити універсальні комплекси: NEUROSIGN, NIM®. Попри достатньо широкі можливості і суттєве зниження ризику пошкодження ЗГН під час використання зазначених комплексів, їх практичне застосування в першу чергу обмежується високою вартістю та потребою переведення пацієнта до третьої стадії анестезії в процесі хірургічного втручання, яка є особливо небезпечною для його життя.

Останнім часом, у працях Шідловського В.О., Розновського Я.Р., Дивака М.П., Козак О.Л. розглянуто математичні моделі та засоби для моніторингу ЗГН, які ґрунтуються на подразненні тканин хірургічної рани змінним струмом і на аналізі інформативних ознак сигналу – реакції на подразнення звуковими сенсорами. При цьому за інформативну ознаку – обрано максимальну амплітуду сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани, що не забезпечує мінімізації ризику пошкодження ЗГН.

Разом з тим, існуюче програмне забезпечення програмно-технічних комплексів NEUROSIGN, NIM® має ряд недоліків: висока вартість; закритість створених систем; апаратна орієнтованість і неможливість інсталяції програмного забезпечення для більш «глибокого» опрацювання інформаційного сигналу, наприклад, із урахуванням його спектральних характеристик; неможливість змінити інтерфейс користувача під його конкретні вимоги. До недоліків інших програмних систем, які забезпечують функціонування засобів на принципі подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом слід віднести: різноманітність середовищ, для яких реалізовано програмні модулі; потребу втручання користувача в процес як отримання результатів моніторингу, так і в процес їх опрацювання, і, як наслідок, існуюче програмне забезпечення для візуалізації безпечної ділянки хірургічного втручання не функціонує в режимі реального часу; проблема сегментації інформаційного сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани; відсутність модулів, які ґрунтуються на спектральному аналізі інформаційного сигналу.

Виходячи із вище викладеного, актуальною є науково-технічна задача створення математичного забезпечення та програмної системи з архітектурою, які у сукупності забезпечують функціонування різноманітних модулів як єдиної системи,

націленої на високоефективний моніторинг області хірургічного втручання, безпомилкове визначення розміщення ЗГН у реальному часі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася в межах пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки «Інформаційні та комунікаційні технології», визначеного Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки (№ 2623-III від 11.07.2001 р. в редакції від 16.01.2016 р.), а також в межах науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету протягом 2011–2016 років. Основні результати дисертаційного дослідження отримано в межах виконання таких тем:

- держбюджетне прикладне дослідження на тему: «Інформаційна технологія для ідентифікації і візуалізації зворотного гортанного нерва в процесі хірургічної операції на щитовидній залозі» (державний реєстраційний номер 0112U000078), у якій автором отримано моделі інформативних ознак, що є результатом подразнення тканин хірургічної рани в області розміщення щитоподібної залози змінним струмом та удосконалено інформаційну технологію виявлення ЗГН, які підвищують достовірність виявлення ЗГН в процесі хірургічної операції і знижують ризик його пошкодження;

- держбюджетне прикладне дослідження на тему: «Теорія побудови та методи реалізації в реальному часі міждисциплінарних математичних моделей зміни стану складних об'єктів» (державний реєстраційний номер 0114U000569), у якій автором розроблено математичне забезпечення прикладної програмної системи моніторингу ЗГН, яке, на відміну від існуючих, встановлює частотний діапазон та інтервальні оцінки енергії інформаційного сигналу, і, тим самим, забезпечує основну вимогу безпомилкового виявлення зворотного гортанного нерва;

- науково-дослідна робота на тему: «Макромодельовання складних систем та процесів в умовах структурної невизначеності на основі неточних даних» (державний реєстраційний номер 0111U010356), у якій автором розроблено архітектуру прикладної програмної системи моніторингу ЗГН.

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка математичного забезпечення та прикладної програмної системи моніторингу ЗГН у процесі хірургічної операції на щитоподібній залозі для забезпечення мінімізації ризику його пошкодження.

Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі задачі:

- проаналізувати технічне, математичне та програмне забезпечення засобів для виявлення ЗГН;

- розробити математичні моделі характеристик середовища хірургічного втручання, які ґрунтуються на спектральному аналізі сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани;

- розробити математичне забезпечення та архітектуру прикладної програмної системи моніторингу ЗГН, яка б урахувала: різноманітність середовища реалізації програмних модулів; складність задач, які функціонально виконують різні модулі; різноманітність вимог до часу виконання кожної задачі в програмно-технічному комплексі; функціонування різноманітних модулів як єдиної системи націленої на високоефективний моніторинг області хірургічного втручання в реальному часі;

- удосконалити інформаційну технологію виявлення ЗГН, яка б забезпечувала зниження ризику його пошкодження;

- провести апробацію створеної прикладної програмної системи та удосконаленої інформаційної технології в процесі операції на щитоподібній залозі.

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

Предмет дослідження – математичне та програмне забезпечення системи виявлення ЗГН під час хірургічного втручання на щитоподібній залозі.

Методи дослідження. Для отримання інформаційних сигналів – реакції на подразнення тканин хірургічної рани використано електрофізіологічні методи активації тканин щитоподібної залози. Для виявлення інформативних ознак отриманих під час операції інформаційних сигналів застосовані методи сегментації, кореляційного, спектрального та інтервального аналізу. Для прийняття рішення про тип тканини у точці подразнення розроблено програмний комплекс (для проектування програмного комплексу використано об'єктно-орієнтований підхід, а для його реалізації – компілятор MatLab, мову C# та .NET технологію).

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

- отримано математичні моделі характеристик середовища хірургічного втручання у вигляді інтервальних оцінок енергії сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани у встановленому діапазоні частот, які підвищують достовірність виявлення ЗГН в процесі хірургічної операції і знижують ризик його пошкодження;

- розроблено математичне забезпечення прикладної програмної системи моніторингу ЗГН, яке, на відміну від існуючих, встановлює частотний діапазон та інтервальні оцінки енергії сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани і формальні правила класифікації тканин хірургічної рани, що у сукупності забезпечує основну вимогу безпомилкового виявлення ЗГН;

- розроблено архітектуру прикладної програмної системи моніторингу ЗГН, яка відрізняється від інших систем інтегрованим використанням модулів читання, сегментації, виявлення інформативних ознак сигналу – реакції на подразнення ЗГН та модуля прийняття рішень, реалізованих в різних програмних середовищах, що у сукупності забезпечує використання прикладної програмної системи в режимі реального часу.

На основі розробленого математичного та програмного забезпечення системи виявлення ЗГН *удосконалено* інформаційну технологію виявлення ЗГН, яка, на відміну від існуючих, ґрунтується на математичних моделях інформативних ознак та інтервальному аналізі енергетичного спектру інформаційного сигналу, забезпечує безпомилкове виявлення ЗГН в процесі хірургічної операції на щитоподібній залозі в режимі реального часу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні та застосуванні прикладної програмної системи для моніторингу ЗГН під час операцій на щитоподібній залозі. Розроблену систему інтегровано в програмно-технічний комплекс для моніторингу ЗГН та багаторазово апробовано в процесі хірургічної операції на щитоподібній залозі в Тернопільській міській комунальній лікарні швидкої допомоги. В процесі апробації комплексу не виявлено жодного випадку пошкодження ЗГН.

Теоретичні та прикладні результати дисертаційної роботи використано:

- в Тернопільській міській комунальній лікарні швидкої допомоги для моніторингу ЗГН при проведенні хірургічних операцій на щитоподібній залозі (акт про впровадження результатів дисертаційної роботи від 12.01.2016 р);

- при виконанні держбюджетних тем: «Інформаційна технологія для ідентифікації і візуалізації зворотного гортанного нерва в процесі хірургічної операції на щитовидній залозі» (державний реєстраційний номер 0112U000078),

«Теорія побудови та методи реалізації в реальному часі міждисциплінарних математичних моделей зміни стану складних об'єктів» (державний реєстраційний номер 0114U000569, акт про використання результатів дисертаційної роботи від 12.01.2016 р.);

– в навчальному процесі Тернопільського національного економічного університету на кафедрі комп'ютерних наук під час викладання дисциплін «Архітектура та проектування програмного забезпечення», «Конструювання програмного забезпечення», «Аналіз вимог до програмного забезпечення» для студентів напряму підготовки «Програмна інженерія» (акт про впровадження в навчальний процес від 12.01.2016 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі результати, викладені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належать такі результати: [1] – створена прикладна програмна система для дослідження процесів ідентифікації ЗГН; [2] – удосконалена інформаційна технологія для моніторингу ЗГН під час хірургічної операції на щитоподібній залозі; [3] – метод інтервального аналізу енергетичного спектру сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани для задачі ідентифікації ЗГН; [4,14] – спектральний аналіз сигналів – реакції на подразнення різних точок тканин хірургічної рани; [5,16,17] – математична модель, метод та засоби отримання гарантованої оцінки області розміщення ЗГН на хірургічній рані, за рахунок попереднього подразнення тканин хірургічної рани струмом фіксованої частоти і подальшої побудови функції розподілу реакції на подразнення у вигляді інтервальної моделі з гарантованим включенням амплітуди сигналу; [6] – побудована архітектура прикладної програмної системи для виявлення ЗГН на хірургічній рані; [7] – створено інтерфейс прикладної програмної системи виявлення ЗГН під час проведення хірургічної операції на щитоподібній залозі; [8] – побудована модель електропровідності тканин хірургічної рани під час операції на щитоподібній залозі у вигляді замісної електричної схеми; [9] – проведено аналіз інформаційних сигналів – реакції на подразнення різних точок тканин хірургічної рани на основі взаємнокореляційної функції; [10] – запропоновано метод ковзного середнього під час обробки сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани в задачі ідентифікації ЗГН; [11] – проведено аналіз сигналів – реакції на подразнення різних точок тканин хірургічної рани на основі автокореляційної функції сигналу; [12] – запропоновано алгоритм отримання інтервальної характеристики сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани в задачі ідентифікації ЗГН; [13] – проведено інтервальний аналіз енергетичного спектру сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани; [15] – описано метод активації тканин хірургічної рани щитоподібної залози.

Основні положення та результати дисертаційної роботи в наведених працях викладені в повному обсязі.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських конференціях, наукових семінарах, а саме, на: Міжнародній проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління» (ПНМК), Бучач-Яремча – 2011; I, III, IV, V, VI Всеукраїнських школах-семінарах молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології» (АСІТ), Тернопіль, ТНЕУ – 2011, 2013, 2014, 2015, 2016; XIth International Conference «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science» (TCSET), Lviv-Slavske – 2012; Міжнародній літній школі-семінарі «Індуктивне моделювання: теорія і

застосування», Київська обл., с.Жукин – 2012; 13th International Workshop «Computational Problems of Electrical Engineering», Poland-Grubow – 2012; 12th International Conference «The Experience Of Designing And Application Of CAD Systems in Microelectronics», Lviv-Polyana – 2013; Joint conference «Computational Problems of Electrical Engineering and Advanced Methods of the Theory of Electrical Engineering», Czech Republic, Roztoky u Křivoklátu – 2013; 15th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), Slovak Republic, Terchová-Vrátna dolina – 2014; науково-практичних конвенціях професорсько-викладацького складу Тернопільського національного економічного університету, 2012-2016; наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук цього ж університету, 2012-2016.

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 17 наукових праць із загальним обсягом 63 сторінки, зокрема 5 статей у фахових наукових виданнях [1-5], одне з яких входить до міжнародної наукометричної бази Scopus [4], одне – Index Copernicus [1], 12 публікацій у матеріалах конференцій [6-17], 2 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus [11,15].

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 140 найменувань та трьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 146 сторінок друкарського тексту, з них 121 сторінка основного тексту. Робота містить 67 рисунків і 4 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі дослідження. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вказано наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів дисертаційного дослідження. Зазначено дані про особистий внесок автора, апробацію результатів роботи та публікації.

У **першому розділі** проаналізовано технічне, математичне та програмне забезпечення засобів для виявлення ЗГН.

Для аналізу особливостей способів та технічних засобів виявлення розміщення ЗГН на хірургічній рані щитоподібної залози запропоновано та обґрунтовано такі класифікаційні ознаки: прямі чи опосередковані способи виявлення розміщення ЗГН; спосіб подразнення тканин хірургічної рани; принципи фіксації результатів подразнення області хірургічного втручання; засоби опрацювання результатів подразнення, зокрема із використання програмного забезпечення та без його використання.

Уведені класифікаційні ознаки дали можливість класифікувати усі існуючі способи та технічні засоби виявлення розміщення ЗГН на хірургічній рані щитоподібної залози та провести їх ґрунтовний аналіз.

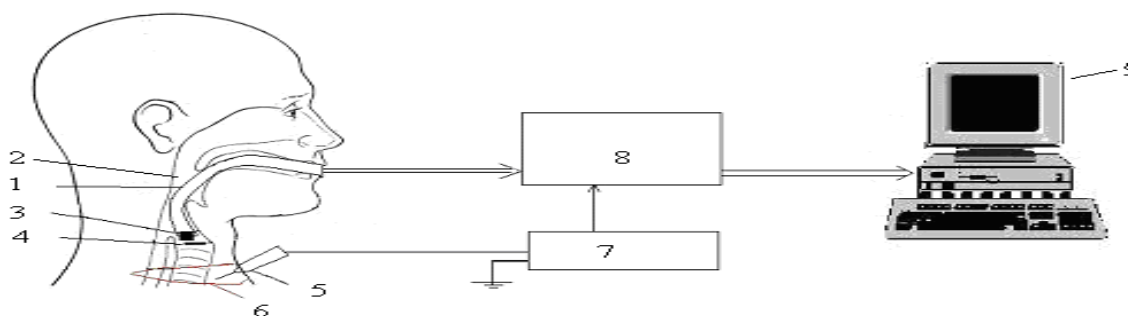
У результаті проведеного аналізу встановлено, що способи візуальної ідентифікації ЗГН з-поміж інших тканин хірургічної рани мають суттєві вади, зокрема, що їх неможливо застосувати у випадках анатомічних варіацій нервових шляхів, складно застосовувати у випадках повторних операцій. Тому ризик пошкодження ЗГН на щитоподібній залозі при застосуванні прямих способів виявлення розміщення ЗГН є дуже високим і зростає у три рази внаслідок післяопераційних змін і рубцювання. Серед опосередкованих способів виявлення розміщення ЗГН виділено дві групи за способом подразнення тканин хірургічної рани: постійним струмом та змінним. Загальним недоліком першої групи способів моніторингу ЗГН є використання біполярних електродів для подразнення тканин хірургічної рани. Подразнюючи ними нервову тканину у кількох точках, можна

помилково діагностувати цілісність ЗГН. До того ж кров та слиз на хірургічній рані, що потрапляє на електроди, змінює картину провідності тканини і призводить до їх хибної класифікації. Невід'ємною перешкодою правильної класифікації тканин хірургічної рани також є затримка в передачі нервових імпульсів через набряк тканин тощо.

Серед проаналізованих засобів опосередкованого виявлення ЗГН більшість є технічно складними, високовартісними та вимагають додаткового персоналу для обслуговування під час операції. Найбільш вагомим недоліком проаналізованих способів та засобів є потреба встановлення сенсорів в області розміщення голосових зв'язок для реєстрації їх реакції у відповідь на подразнення тканин хірургічної рани, що вимагає переведення пацієнта до третьої стадії анестезії, яка є особливо небезпечною для життя пацієнта.

В процесі аналізу також виділено найбільш ефективні на сьогоднішній день системи інтраопераційного нейромоніторингу, які реалізовано у програмно-технічних комплексах NEUROSIGN, NIM®. Застосування таких систем під час хірургічного втручання значно підвищило ймовірність виявлення ЗГН на хірургічній рані і знизило ризик його пошкодження. Програмне забезпечення, зазначених систем, реалізоване у вигляді єдиного модуля на мові низького рівня та добре інтегроване до можливостей апаратних засобів і спеціалізованого процесора опрацювання інформаційного сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани. Проте ці системи є закритими, апаратно-орієнтованими і не можуть забезпечити інсталяцію програмного забезпечення для більш «глибокого» опрацювання інформаційного сигналу, наприклад, із урахуванням його спектральних характеристик. Також в існуючих системах неможливо змінити інтерфейс користувача під його конкретні вимоги. Іншим, найважливішим недоліком систем інтраопераційного нейромоніторингу є висока вартість: від десяти до ста тисяч доларів.

За результатами аналізу обґрунтовано використання нового перспективного способу та технічних засобів для розвитку систем моніторингу ЗГН, в основі функціонування яких є подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом та фіксація результатів подразнення звуковим сенсором, встановленим в ендотрахеальній трубці вище голосових зв'язок. Схема зазначеного способу наведена 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 – аудіовхід звукової карти комп'ютера

Рис. 1. Спосіб ідентифікації ЗГН з-поміж тканин хірургічної рани

Суттєвою перевагою наведеного комплексу є вища чутливість та можливість проведення операції з переведенням пацієнта до другої, безпечної стадії анестезії.

Аналіз математичного забезпечення задачі виявлення ЗГН в процесі операції на щитоподібній залозі в основному був сконцентрований на встановленні

можливостей розвитку систем моніторингу ЗГН на основі подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом.

У процесі аналізу встановлено ряд вад існуючих математичних методів аналізу інформаційного сигналу. Зокрема, для візуалізації розміщення ЗГН у методі, який ґрунтується на аналізі максимальної амплітуди сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани, необхідно визначити структуру моделі залежності максимальної амплітуди отриманого сигналу від координат хірургічної рани у вигляді лінійно-параметричного рівняння. Процедура структурної ідентифікації математичної моделі на основі результатів спостережень є надзвичайно складною з точки зору обчислень і часто вимагає залучення експертів, що є абсолютно неприйнятним у випадку побудови системи моніторингу ЗГН, яка функціонує в режимі реального часу. Також встановлено ряд інших недоліків існуючого математичного забезпечення систем моніторингу ЗГН. Зокрема: потреби прив'язки максимальної амплітуди звукового сигналу зі звукового сенсора до координат точок на хірургічній рані; неможливість точного визначення координат точки подразнення на хірургічній рані, що у результаті призводить до суттєвої похибки встановлення області розміщення ЗГН на хірургічній рані і, відповідно, до підвищення ризику його пошкодження. Найсуттєвішим недоліком є те, що амплітуда звукового сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани залежить не тільки від ступеня наближеності точки подразнення до ЗГН, але і від інших чинників, зокрема специфіки гортані кожного пацієнта.

На основі проведеного аналізу математичного забезпечення задачі виявлення ЗГН в процесі операції на щитоподібній залозі обґрунтовано необхідність застосування інших математичних методів більш «глибшого» опрацювання інформаційних характеристик сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани, зокрема тих, які ґрунтуються на спектральному аналізі інформаційного сигналу.

Існуюче програмне забезпечення систем, які побудовано на основі схеми рис. 1, також має ряд важливих недоліків, які унеможливають його застосування в реальному часі. Зокрема: різноманітність середовищ для яких реалізовано програмні модулі; потреба втручання користувача в процес як отримання результатів моніторингу, так і в процес їх опрацювання, і, як наслідок, існуюче програмне забезпечення для візуалізації безпечної ділянки хірургічного втручання не функціонує в режимі реального часу; проблема сегментації інформаційного сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани; відсутність модулів спектрального аналізу сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани.

Різноманітна складність задач, які функціонально виконують різні модулі існуючого програмного забезпечення, різні вимоги до часу виконання кожної задачі в програмно-технічному комплексі спонукають до створення нової архітектури програмної системи, яка забезпечує функціонування різноманітних модулів як єдиної системи, націленої на високоефективний моніторинг області хірургічного втручання в реальному часі.

У завершальній частині першого розділу обґрунтовано мету дисертаційного дослідження та сформульовано основні задачі.

У **другому розділі** описано створене математичне забезпечення програмної системи моніторингу ЗГН.

Спочатку запропоновано удосконалену математичну модель характеристик середовища хірургічного втручання для виявлення ЗГН за ознакою максимальної амплітуди сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом.

Однією із основних ознак звукового сигналу – опосередкованої реакції голосових зв'язок на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом (див. рис.1) є його максимальна амплітуда під час дії короткочасного подразнення.

Позначимо максимальну амплітуду інформаційного сигналу $U_{\max}(x, y)$, де (x, y) – координати точки подразнення в деякій системі координат. Наприклад, початок системи координат можна обрати з прив'язкою до деякого органа на ділянці оперативного втручання.

Враховуючи похибки вимірювань максимальної амплітуди звукового сигналу, похибки визначення координат точки подразнення, результати опрацювання сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани представимо в такому вигляді:

$$([x_i^-; x_i^+], [y_i^-; y_i^+]) \rightarrow [U_{\max i}^-; U_{\max i}^+], i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

де $[x_i^-; x_i^+], [y_i^-; y_i^+]$ – інтервальні оцінки координат точки подразнення; $U_{\max i}^-, U_{\max i}^+$ – відповідно нижня і верхня межі максимального значення амплітуди отриманого сигналу.

З метою визначення місцеположення ЗГН на області хірургічного втручання, необхідно спрогнозувати максимальну очікувану амплітуду сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани в точках, які розміщені поза точками подразнення тканин хірургічної рани. Математичну модель, яка пов'язує координати точки на хірургічній рані з максимальною амплітудою звукового сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани шукатимемо у вигляді лінійно-параметричної функції

$$U_{\max}(x, y) = b_0 + b_1 \cdot \varphi_1(x, y) + \dots + b_m \cdot \varphi_m(x, y), \quad (2)$$

де $\varphi_1(x, y), \dots, \varphi_m(x, y)$ – базисні функції від координат (x, y) , b_0, b_1, \dots, b_m – невідомі параметри моделі.

Для оцінювання невідомих параметрів математичної моделі (2) необхідно використати експериментальні дані у вигляді (1). Умови для обчислення оцінок параметрів моделі (2) сформулюємо як забезпечення заданої точності математичної моделі в межах інтервальних похибок:

$$U_{\max i}^- \leq U_{\max}(x, y) \leq U_{\max i}^+, i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Зважаючи на вираз (2), із умов (3), отримано:

$$U_{\max i}^- \leq b_0 + b_1 \cdot \varphi_1([x_i^-; x_i^+], [y_i^-; y_i^+]) + \dots + b_m \cdot \varphi_m([x_i^-; x_i^+], [y_i^-; y_i^+]) \leq U_{\max i}^+, i = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Отримана система є інтервальною системою лінійних алгебричних рівнянь (ІСЛАР). Розв'язком такої системи (якщо він існує) є, у загальному випадку, неопукла область Ω оцінок параметрів моделі. Кожен вектор $\vec{b} = (b_0, b_1, \dots, b_m) \in \Omega$ параметрів породжує одну модель, а усі вектори, що належать даній області, породжують коридор інтервальних моделей у вигляді

$$[U_{\max}^-([x], [y]), U_{\max}^+([x], [y])] = [\min_{\vec{b} \in \Omega} \vec{b}^T \cdot \vec{\varphi}([x], [y]); \max_{\vec{b} \in \Omega} \vec{b}^T \cdot \vec{\varphi}([x], [y])], \quad (5)$$

де $[x] = [x_i^-; x_i^+]$, $[y] = [y_i^-; y_i^+]$ – інтервальні оцінки координат точки подразнення.

Зважаючи на те, що область розв'язків Ω є неопуклим многогранником, таке представлення області оцінок параметрів є складним для побудови інтервальних моделей, тому очевидною є відмова від спроби знайти «точний» з методичної точки зору розв'язок. В інтервальному аналізі локалізацію розв'язків ІСЛАР (4) отримують у вигляді прямокутного паралелепіпеда, грані якого паралельні осям координат. У цьому випадку одержані оцінки записують у вигляді $[b_j^-, b_j^+]$, $j = 1, \dots, m$, де b_j^-, b_j^+ – нижня та верхня гарантовані межі можливих значень параметрів. Тоді

коридор інтервальних моделей, за яким будуємо область на хірургічній рані, яка гарантовано включає ЗГН, матиме такий вигляд

$$[U_{\max}^-([x],[y]), U_{\max}^+([x],[y])] = [\vec{b}]^T \cdot \vec{\varphi}([x],[y]), \quad (6)$$

де $[\vec{b}] = ([b_1^-; b_1^+], \dots, [b_m^-; b_m^+])^T$ – інтервальний вектор, компоненти якого знайдені із розв'язку задач неопуклого програмування.

У цьому розділі запропоновано та обґрунтовано для побудови моделі (5) розподілу максимальної амплітуди сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом використати методи стохастичного пошуку розв'язків ІСЛАР (4).

Коридор інтервальних моделей (6) з гарантованою точністю описує розподіл максимальної амплітуди інформаційного сигналу (реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом) на поверхні ділянки оперативного втручання. Найбільші значення максимальної амплітуди будуть в точках хірургічної рани, які відповідають ЗГН. Зменшення цих значень буде спостерігатися при віддаленні точок подразнення від ЗГН.

Отриманий коридор інтервальних моделей є основою для визначення гарантованої області без ризикового (з точки зору ймовірності пошкодження ЗГН) хірургічного втручання. Для цього достатньо визначити мінімальний пороговий рівень \bar{U}_{\min} максимальної амплітуди інформаційного сигналу, який ймовірно ще може відповідати точці безпосереднього подразнення ЗГН і застосувати таке правило:

$$\chi = \left\{ \vec{p} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \mid \hat{U}^+(x, y) \leq \bar{U}_{\min} \right\}. \quad (7)$$

Отримана із (7) множина χ точок \vec{p} на області хірургічного втручання з координатами (x, y) визначає гарантовану область хірургічного втручання, яка гарантовано не включає гортанний нерв.

Разом з тим, запропонований метод не гарантує зниження ризику пошкодження ЗГН в процесі хірургічного втручання до «0» через слабку інформативність параметра інформаційного сигналу, яким є його максимальна амплітуда. З іншої сторони, недоліком запропонованого методу є складна процедура ідентифікації параметрів інтервальних моделей (6), які описують з гарантованою точністю розподіл максимальної амплітуди інформаційного сигналу на поверхні ділянки оперативного втручання.

Далі у цьому розділі наведено результати досліджень спектральних характеристик реальних сигналів – реакції на подразнення тканин хірургічної рани, отриманих за схемою (рис. 1).

Як відомо, спектр сигналу є однією із його основних характеристик. Враховуючи те, що подразнення тканин хірургічної рани проводиться електричним струмом із заданою частотою, нами було висунуто гіпотезу про те, що на низьких частотах можлива модуляція «шумоподібного» звукового сигналу, який виникає внаслідок проходження потоку повітря через гортань пацієнта, вібрацією голосових зв'язок з частотою сигналу подразнення. Метою даного дослідження було виявити у спектрі результуючого інформаційного сигналу спектральні складові сигналу подразнення (модуючого сигналу). Схему описаного явища наведено на рис. 2.

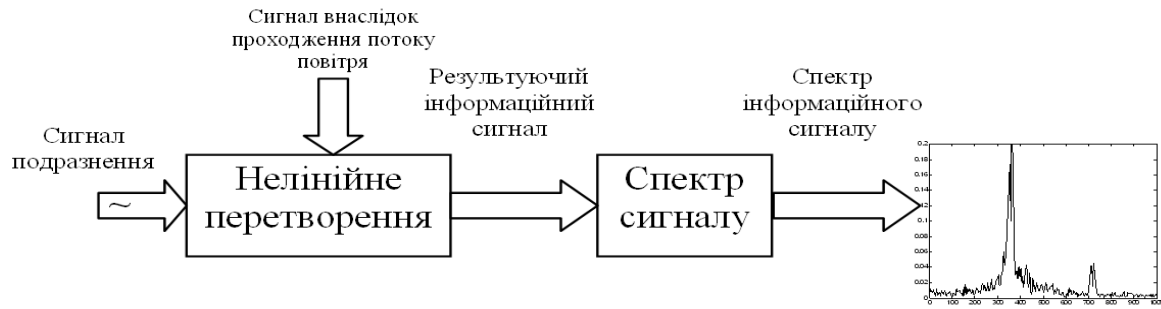


Рис.2. Схема отримання спектральних складових сигналу подразнення

Як видно з рис. 2, результуючий інформаційний сигнал, спектр якого використовується для ідентифікації розміщення ЗГН, отримується внаслідок нелінійного перетворення двох сигналів. Перший з них є сигнал подразнення, а другий – сигнал, отриманий звуковими коливаннями, які виникають внаслідок проходження потоку повітря через гортань пацієнта. На жаль, природа цього нелінійного перетворення на сьогоднішній день не досліджена в достатній мірі.

Вихідний інформаційний сигнал ми отримували в процесі хірургічних операцій на щитоподібній залозі для понад 200 пацієнтів. Подразнення тканин хірургічної рани здійснювали змінним струмом на частотах від 100 до 400 Гц.

У процесі досліджень виявлено три групи характерних (для певної групи пацієнтів) фрагментів сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом та відповідні їх спектри. На рис. 3 наведено ці фрагменти, отримані у випадку струму подразнення з частотою 320 Гц.

Рис. 3(а) ілюструє типовий для першої групи пацієнтів звуковий сигнал та його спектр, рис. 3(б) – типовий для другої групи, рис. 3(в) – типовий для третьої. Існування трьох різних груп пацієнтів, для яких типовою є реакція на подразнення тканин хірургічної рани, суттєво ускладнюють правило прийняття рішення щодо типу тканини і не зменшують ризику пошкодження ЗГН в процесі операції на щитоподібній залозі.

Проведені дослідження спектральних характеристик сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом дали можливість отримати *математичні моделі характеристик середовища хірургічного втручання у вигляді інтервальних оцінок енергії сигналу - реакції на подразнення тканин хірургічної рани у встановленому діапазоні частот, які підвищують достовірність виявлення ЗГН в процесі хірургічної операції і знижують ризик його пошкодження.*

Спочатку було досліджено автокореляційні функції (АКФ) сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом.

Математичним відповідником автокореляційної характеристики в теорії випадкових процесів є кореляційна функція:

$$B(\tau) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{2\tau} \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u(t - \tau)dt. \quad (8)$$

Типові автокореляційні характеристики сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом для випадку подразнення м'язових тканин та ЗГН зображено на рис. 4(а) та рис. 4(б), відповідно. Як бачимо, вони є характерними для цих випадків і дають можливість побудувати чітке правило для виявлення ЗГН серед тканин хірургічної рани.

В завершальному підрозділі другого розділу показано, що розроблене *математичне забезпечення прикладної програмної системи моніторингу ЗГН, яке, на відміну від існуючих, встановлює частотний діапазон та інтервальні оцінки енергії сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани і формальні*

правила класифікації тканин хірургічної рани, що у сукупності забезпечує основну вимогу безпомилкового виявлення ЗГН.

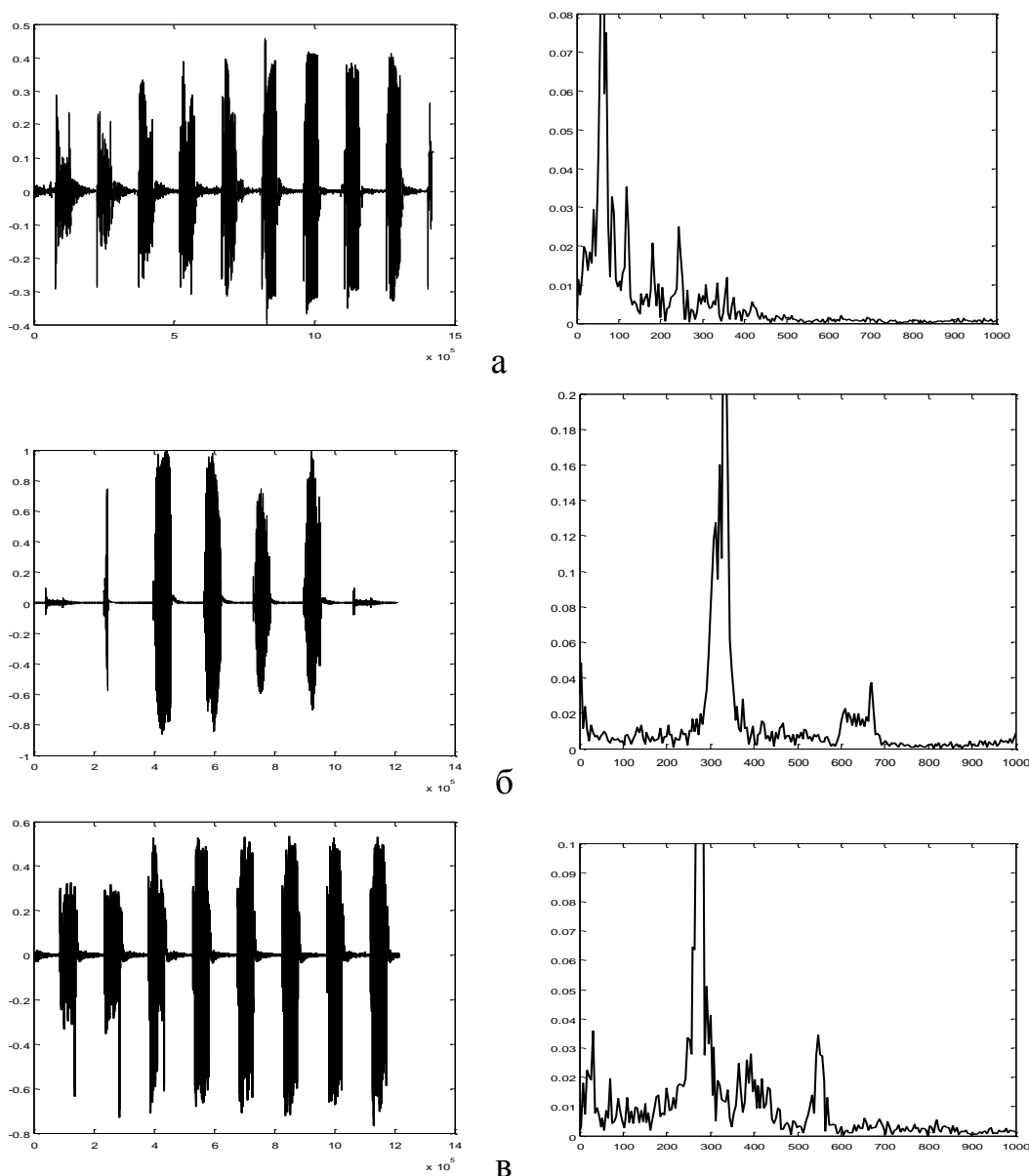


Рис. 3. Фрагменти сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом та відповідні їх спектри

Для цього інформаційний сигнал, отриманий за схемою (див. рис.1.) сегментуємо і для кожного виділеного фрагменту знаходимо АКФ.

Після побудови АКФ для кожного сегмента інформаційного сигналу, на наступному кроці застосовуємо перетворення Фур'є і отримуємо енергетичний спектр інформаційного сигналу:

$$|\dot{G}_{u_i}(f)|^2 = \Phi[B_{u_i}(\tau)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} B_{u_i}(\tau) \cdot \cos(2\pi f\tau) d\tau, \quad i=1..m, \quad (9)$$

де $|\dot{G}_{u_i}(f)|$ – спектральна густина i -го сегмента інформаційного сигналу $u(t)$, f – частота гармонічної складової.

Дослідження, результати, яких наведено в цьому розділі показали, що максимальна енергія інформаційного сигналу зосереджена у вузькому (ширина ± 5 Гц) діапазоні частот. Разом з тим, енергетичний спектр інформаційного сигналу

для різних пацієнтів може бути зміщений по частоті основної спектральної складової, але всерівно він зосереджений у вузькому діапазоні частот.

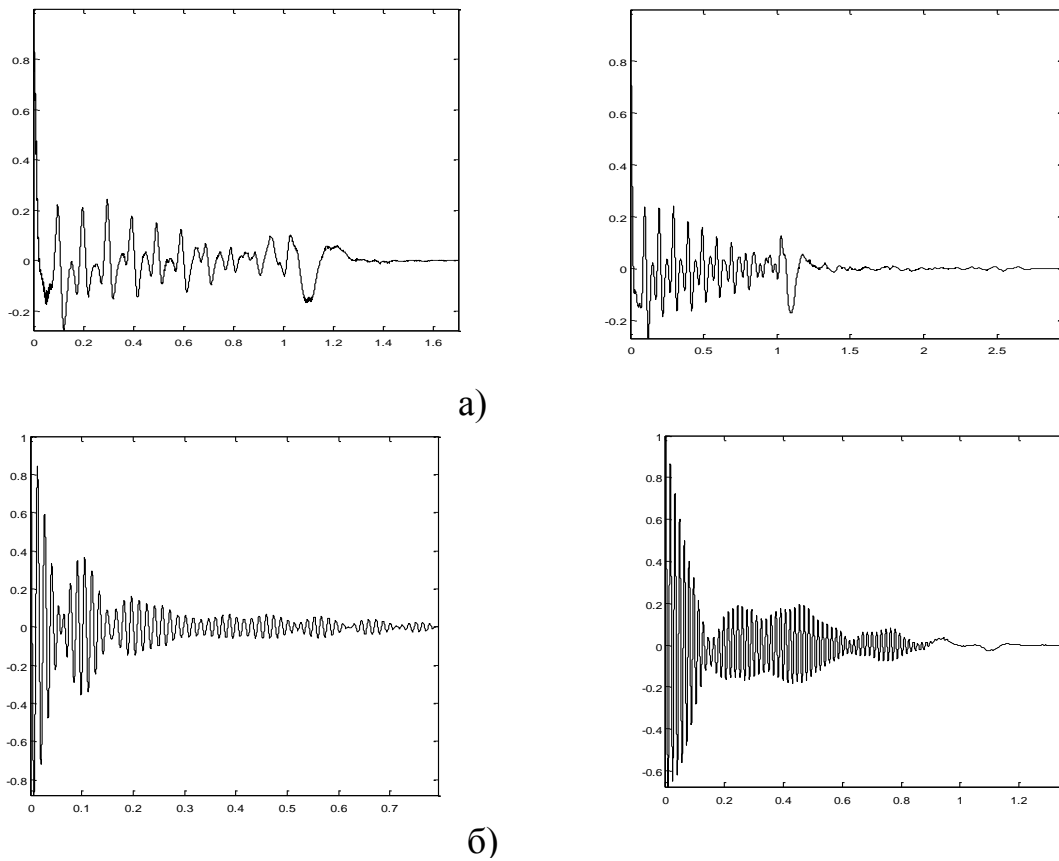


Рис. 4. Типові автокореляційні характеристики сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани змінним струмом

Враховуючи вище зазначене, на наступному кроці оцінку енергії сегменту інформаційного сигналу здійснюємо в діапазоні частот, однаковому для усіх пацієнтів, але який обов'язково включає вузький діапазон (± 5 Гц) в якому сконцентрована енергія основних спектральних складових:

$$E_i = \frac{1}{\pi} \int_{f_1}^{f_2} |\dot{G}_i(f)|^2 df, \quad i = 1..m, \quad (10)$$

де величина E_i задає значення енергії i -го сегмента інформаційного сигналу, яка зосереджена в діапазоні частот $[f_1; f_2]$.

У результаті виконаних перетворень для всього інформаційного сигналу отримуємо інтервальні оцінки енергії $[E^-; E^+]$, характерні для області подразнення на хірургічній рані. Отримані інтервальні оцінки гарантовано включають значення енергії E_i кожного сегмента сигналу:

$$\forall E_i \in [E^-; E^+], \quad i = 1, \dots, m. \quad (11)$$

На рис. 5 наведено результати обчислення типових інтервальних оцінок енергії для групи пацієнтів з 20 осіб.

Як бачимо, оцінки енергії інформаційного сигналу у випадку подразнення ЗГН суттєво перевищують оцінки енергії інформаційного сигналу, отриманого в процесі подразнення м'язової тканини. Також очевидно, що інтервальні оцінки цієї енергії для кожного пацієнта різні, але отримані інтервали між собою не перетинаються в межах одного пацієнта, на відміну від того, як це було при виборі за інформативний параметр максимальної амплітуди інформаційного сигналу.

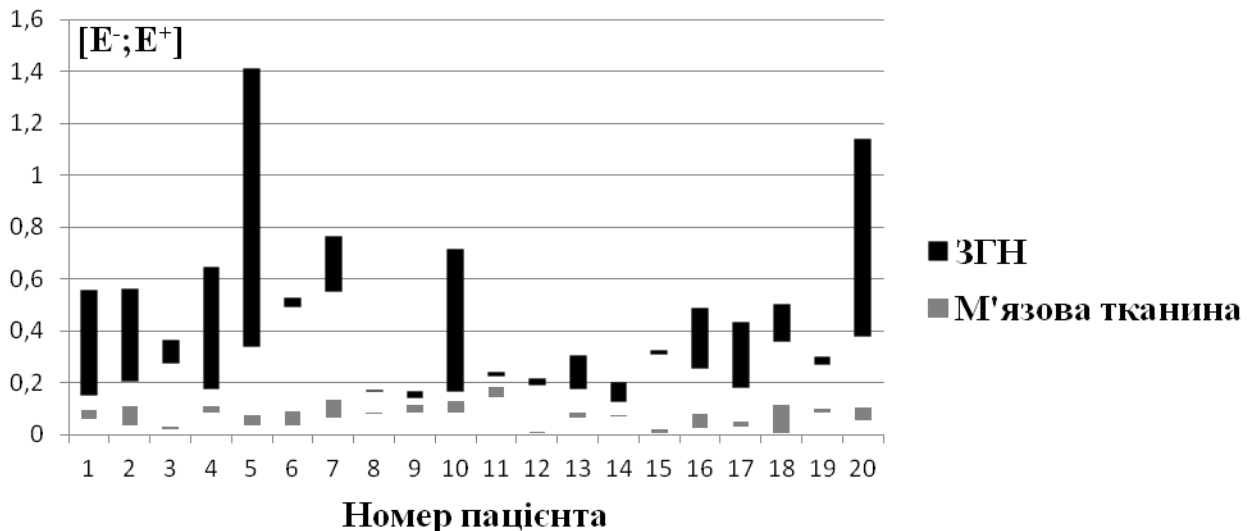


Рис. 5. Розподіл енергії складових спектру сигналу – реакції на подразнення ЗГН та м'язової тканини у вузькому діапазоні частот

Третій розділ дисертації присвячено розробці прикладної програмної системи виявлення ЗГН.

Визначено основні вимоги до програмного комплексу опрацювання сигналів, отриманих при застосуванні електрофізіологічного методу ідентифікації гортанного нерва.

Функціональні вимоги до програмної системи:

1. зчитування сигналу зі звукового сенсора;
2. запис сигналу до медіа-файлу;
3. фільтрація дискретизованого сигналу;
4. сегментація отриманого інформаційного сигналу;
5. визначення інформативних ознак середовища моніторингу ЗГН:
 - а. отримання АКФ інформаційного сигналу;
 - б. побудова енергетичного спектру інформаційного сигналу;
 - в. визначення інтервальної оцінки енергії в заданому діапазоні частот;
6. забезпечення функції підтримки прийняття рішення про тип тканини хірургічної рани на основі порівняння інтервальної оцінки енергії з пороговим рівнем;
7. візуалізація результатів моніторингу тканин хірургічної рани.

Сформульовано вимоги до розробки архітектури прикладної програмної системи, зокрема: можливість об'єднання та цілісного функціонування програмної системи, націленої на високоєфективний моніторинг області хірургічного втручання в реальному часі, яка складається з програмних модулів, реалізованих у різномірних середовищах з функціональним виконанням задач різної складності та з різними вимогами до часу виконання.

Наведено результати розробки *архітектури прикладної програмної системи моніторингу ЗГН, яка відрізняється від інших систем інтегрованим використанням модулів читання, сегментації, виявлення інформативних ознак сигналу – реакції на подразнення ЗГН та модуля прийняття рішень, реалізованих в різних програмних середовищах, яке у сукупності забезпечує використання прикладної програмної системи в режимі реального часу.*

На рис. 6 наведено архітектуру розробленої прикладної програмної системи, яка концептуально розподіляє модулі системи на три рівні: відображення, бізнес логіки і доступу до даних.

Кожен з цих рівнів працює незалежно один від одного. В архітектурі передбачено об'єднання модулів, які працюють в різнорідних середовищах.

Рівень відображення є найвищим рівнем, тут представлені модулі, які мають зовнішні відкриті інтерфейси, ті, з якими безпосередньо працює користувач та зовнішні системи. На цьому рівні представлені наступні модулі: отримання сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани; візуалізації даних пацієнта; візуалізації результатів моніторингу; візуалізації отриманих рішень.

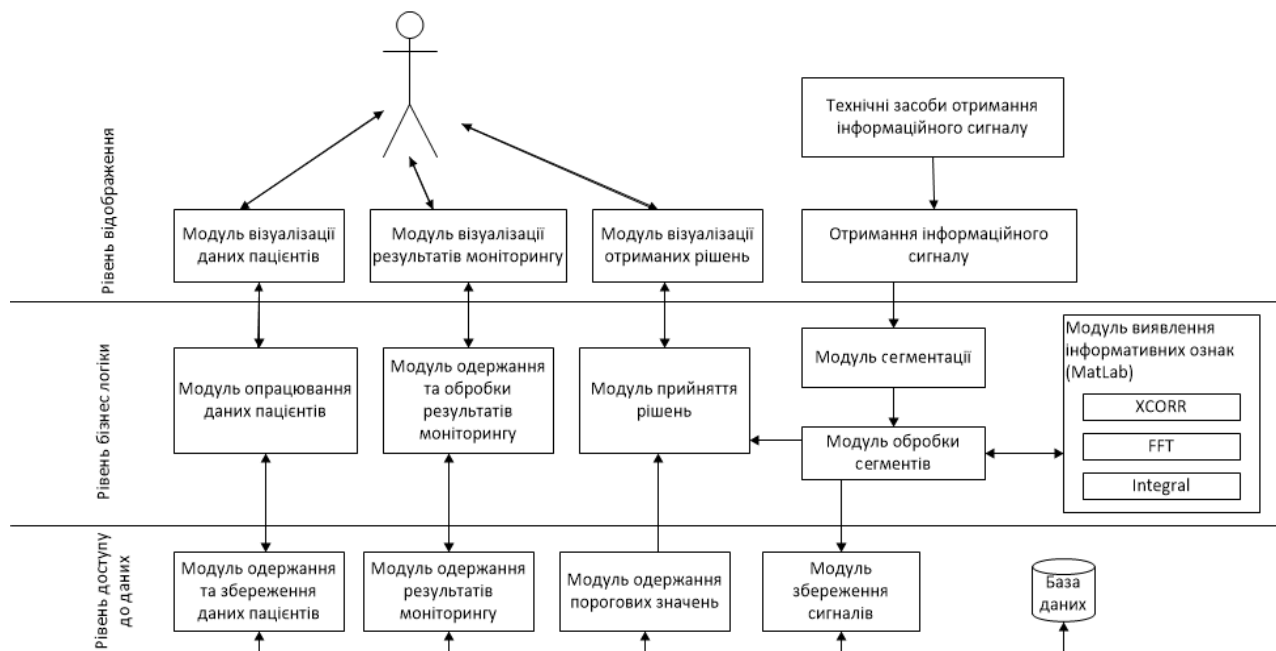


Рис. 6. Архітектура прикладної програмної системи моніторингу зворотного гортанного нерва

На рівні бізнес логіки проводиться вся обробка даних, від фільтрування даних користувачів до визначення інформативних ознак сегментів сигналу, та прийняття рішення про відповідність точки подразнення м'язовій тканині або ЗГН.

На нижньому рівні знаходиться рівень доступу до даних, який безпосередньо відповідає за всі дії, пов'язані з базою даних. Тут реалізовані операції CRUD зі всіма сутностями.

Розроблено діаграми класів для реалізації усіх модулів, одна з яких подана на рис. 7.

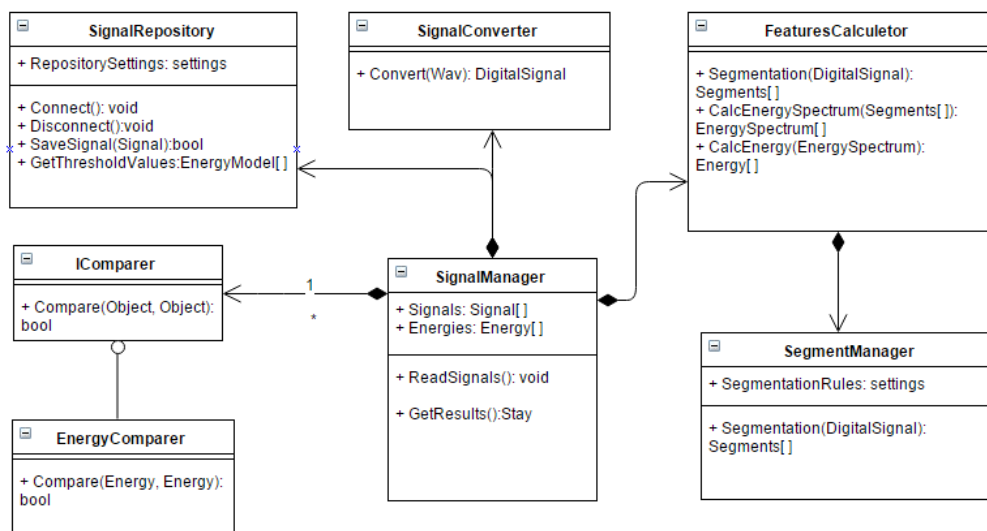


Рис.7. Діаграма класів для задачі встановлення інформативних ознак середовища моніторингу

У четвертому розділі наведено результати інтеграції розробленої програмної системи у складі удосконаленої інформаційної технології для виявлення типу тканин хірургічної рани в процесі хірургічної операції та результати її застосування.

Схема удосконаленої інформаційної технології виявлення ЗГН, яка, на відміну від існуючих, ґрунтується на математичних моделях інформативних ознак та інтервальному аналізі енергетичного спектру інформаційного сигналу, забезпечує безпомилкове виявлення ЗГН в процесі хірургічної операції на щитоподібній залозі в режимі реального часу, наведена на рис. 8.

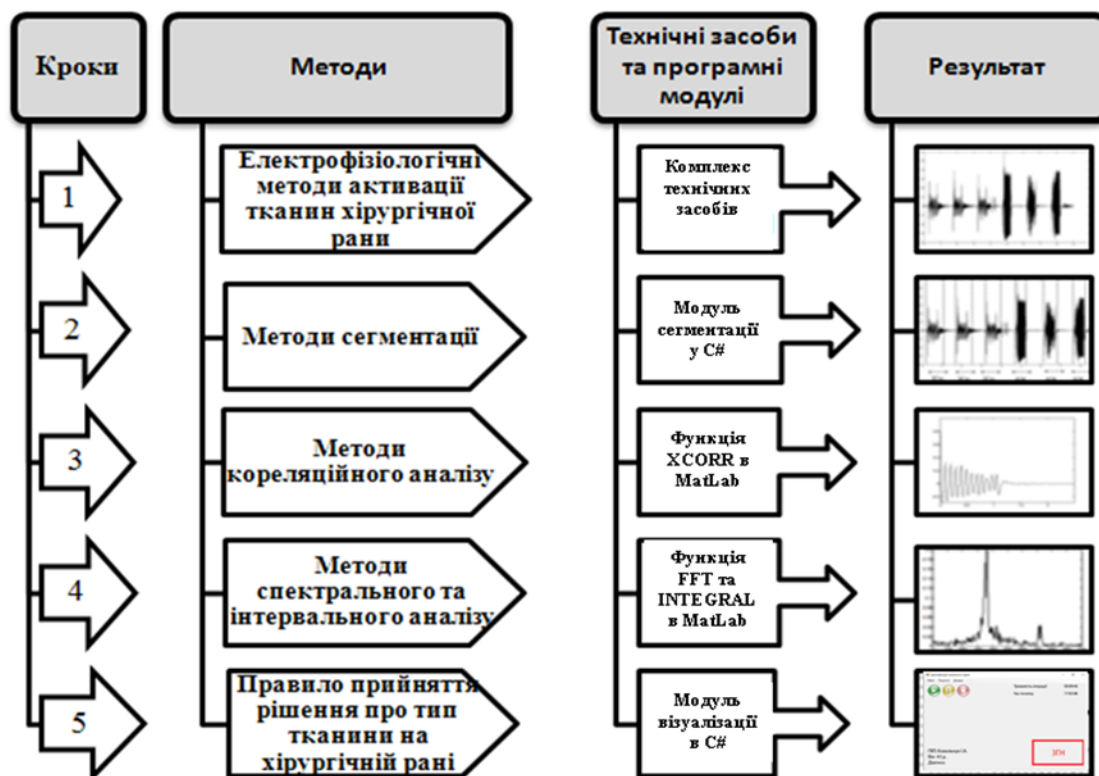


Рис.8. Схема інформаційної технології для виявлення ЗГН в процесі хірургічної операції

У четвертому розділі також наведено приклад застосування розробленої прикладної програмної системи для виявлення ЗГН.

В процесі хірургічної операції на щитоподібній залозі у конкретного пацієнта було обрано 10 точок на хірургічній рани з наперед визначеною тканиною (3 точки на ЗГН і 7 точок на м'язовій тканині) для подразнення змінним електричним струмом. Внаслідок покрокового використання інформаційної технології (див. рис. 8) отримано значення енергії сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани у визначеному діапазоні частот для кожної з 10 точок відповідно.

Проведено аналіз отриманих результатів, представлених графічно на рис. 9. Бачимо що, значення енергії сегментів 2, 5 і 9 перевищують значення енергії з порогового інтервалу $[E_n^-; E_n^+] = [0,092; 0,096]$, який попередньо встановлено експериментально для значної вибірки пацієнтів. Разом з тим, значення енергії сегментів 1, 3, 4, 6, 7, 8 і 10 менші значень енергії з інтервалу $[E_n^-; E_n^+] = [0,092; 0,096]$.

Як наслідок, під час проведення апробації інформаційної технології для усіх точок подразнення тканин хірургічної рани цього пацієнта безпомилково прокласифіковано тип тканини хірургічної рани, що забезпечило безпомилкову ідентифікацію ЗГН в процесі хірургічної операції.

У завершальній частині четвертого розділу наведено приклади і результати застосування та порівняння розробленої прикладної програмної системи для виявлення ЗГН з системами побудованими на відомих моделях інформативних ознак характеристик середовища хірургічного втручання для групи пацієнтів.

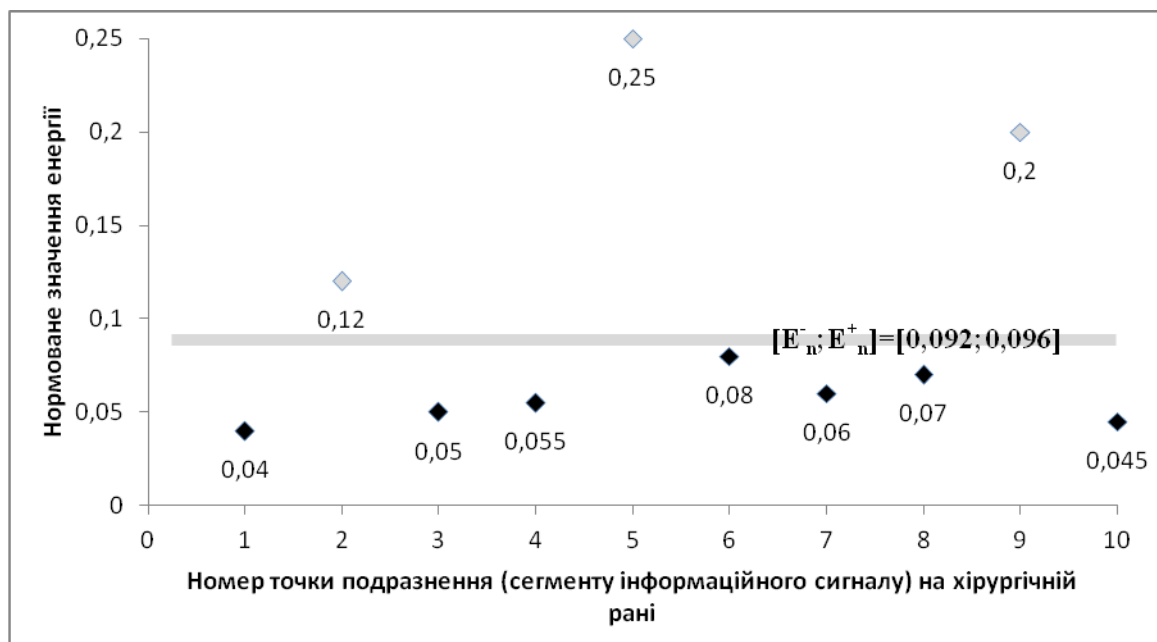


Рис. 9. Графічне представлення значень енергії інформаційного сигналу в десяти точках подразнення на хірургічній рані

Для вибірки зі 100 пацієнтів в дисертації проведено аналіз виявлення ЗГН на основі відомих математичних моделей характеристик середовища хірургічного втручання (максимальної амплітуди та спектру сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани) і запропонованої нової математичної моделі та прикладної програмної системи для її реалізації. Результати порівняння наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати порівняння ефекту від застосування запропонованої та відомих математичних моделей для вибірки зі 100 пацієнтів

Математична модель	Ризик пошкодження ЗГН
За максимальною амплітудою	30%
За спектром	20%
За енергією у встановленому діапазоні частот	0%

Безпомилкова класифікація тканин хірургічної рани на вибірці пацієнтів підтверджує достовірність результатів запропонованої в роботі математичної моделі характеристик середовища хірургічного втручання та математичного забезпечення прикладної програмної системи.

Апробацію розробленої прикладної програмної системи та удосконаленої на її основі інформаційної технології для виявлення ЗГН проведено для близько 500 пацієнтів. В жодному випадку не виявлено пошкодження ЗГН, що підтверджено в довідці про впровадження результатів дисертаційних досліджень в Тернопільській міській комунальній лікарні швидкої допомоги.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання створення математичного забезпечення та програмної системи, яка забезпечує високоефективний моніторинг області хірургічного втручання на щитоподібній

залозі в реальному часі та безпомилкове визначення розміщення ЗГН. При цьому отримано такі наукові та практичні результати:

1. Проаналізовано технічне, математичне та програмне забезпечення засобів для виявлення ЗГН. У результаті аналізу не виявлено математичного забезпечення та програмної системи з архітектурою, які у сукупності забезпечують функціонування різнорідних модулів як єдиної системи, націленої на високоефективний моніторинг області хірургічного втручання, безпомилкове визначення розміщення ЗГН у реальному часі.

2. Вперше отримано математичні моделі характеристик середовища хірургічного втручання у вигляді інтервальних оцінок енергії сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани у встановленому діапазоні частот, які підвищують достовірність виявлення ЗГН у процесі хірургічної операції і знижують ризик його пошкодження.

3. Вперше розроблено математичне забезпечення прикладної програмної системи моніторингу ЗГН, яке, на відміну від існуючих, встановлює частотний діапазон та інтервальні оцінки енергії сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани і формальні правила класифікації тканин хірургічної рани, що у сукупності забезпечило безпомилкове виявлення ЗГН серед тканин хірургічної рани для експериментальної вибірки 500 пацієнтів.

4. Розроблено нову архітектуру та модулі прикладної програмної системи моніторингу ЗГН, яка відрізняється від інших систем інтегрованим використанням модулів читання, сегментації, виявлення інформативних ознак сигналу – реакції на подразнення ЗГН та модуля прийняття рішень, реалізованих в різних програмних середовищах, що у сукупності забезпечує використання прикладної програмної системи в реальному часі.

5. На основі розробленого математичного та програмного забезпечення системи виявлення ЗГН удосконалено існуючу інформаційну технологію виявлення ЗГН, яка, на відміну від існуючих, ґрунтується на математичних моделях інформативних ознак та інтервальному аналізі енергетичного спектру інформаційного сигналу, забезпечує безпомилкове виявлення ЗГН в процесі хірургічної операції на щитоподібній залозі в режимі реального часу.

6. Достовірність отриманих теоретичних результатів підтверджена апробацією розробленої прикладної програмної системи для виявлення ЗГН у процесі операцій на щитоподібній залозі для 500 пацієнтів, проведенням порівняльного аналізу застосування інформаційної технології для вибірки зі 100 пацієнтів у випадку використання відомих та запропонованої математичної моделі характеристик середовища хірургічного втручання у вигляді інтервальних оцінок енергії сигналу – реакції на подразнення тканин хірургічної рани.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Падлецька Н. І. Програмна система для дослідження процесів ідентифікації зворотного гортанного нерва / Н. І. Падлецька, М. П. Дивак, А. В. Пукас, Ю. А. Гордієвич, С. П. Вальчишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №3(52). – С. 131-138.
2. Падлецька Н. І. Інформаційна технологія для ідентифікації зворотного гортанного нерва під час хірургічної операції на щитовидній залозі / Н. І. Падлецька, М. П. Дивак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 1(50). – С.151-157.
3. Дивак М. П. Метод інтервального аналізу енергетичного спектру інформаційного сигналу для задачі ідентифікації зворотного гортанного нерва / М. П. Дивак,

- Н. І. Падлецька // Індуктивне моделювання складних систем. – 2014. – Вип. 6. – С. 69-80.
4. Dyvak M. Spectral analysis the information signal in the identification of the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery / Mykola Dyvak, Natalia Kasatkina, Andriy Pukas, Natalia Padletska // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2013. – Vol. 89, № 6. – P. 275-277.
 5. Дивак М. П. Методи, засоби та інтервальна модель для задачі візуалізації зворотного гортанного нерва в процесі хірургічної операції на щитовидній залозі / М. П. Дивак, В. І. Манжула, Н. І. Падлецька // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. – 2011. – № 2(22). – С. 102-109.
 6. Падлецька Н. І. Архітектура прикладної програмної системи моніторингу зворотного гортанного нерва на хірургічній рані / Падлецька Н. І., Ковальська Л. Й., Дивак М. П., Гордієвич Ю. А. // *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ'2016): Матеріали VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів*. – Тернопіль : ТНЕУ, 2016. – С. 141-143.
 7. Гордієвич Ю. А. Інтерфейс програмної системи для експериментального дослідження тканин хірургічної рани на органах шії / Гордієвич Ю. А., Падлецька Н. І., Пукас А. В., Войтюк І. Ф. // *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ'2016): Матеріали VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів*. – Тернопіль : ТНЕУ, 2016. – С. 116-118.
 8. Дивак М. П. Модель електропровідності тканин хірургічної рани під час операції на щитоподібній залозі у вигляді замісної електричної схеми / Дивак М. П., Падлецька Н. І., Дивак А. М., Ковальська Л. Й. // *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали V Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ2015*. – Тернопіль : ТНЕУ, 2015. – С.18-20.
 9. Padletska N. Correlation analysis of response to RLN stimulation in surgical wound / Natalia Padletska, Mykola Dyvak, Yuriy Pihovsky, Iryna Voytyuk // *15th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE 2014) – Vrátna dolina, Slovak Republic, 2014*. – P. 32.
 10. Падлецька Н. Застосування методу ковзного середнього під час обробки інформаційного сигналу в задачі ідентифікації зворотного гортанного нерва на хірургічній рані / Падлецька Н. І., Дивак М. П. // *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2014*. – Тернопіль : ТНЕУ, 2014. – С.32-34.
 11. Dyvak M. Identification the recurrent laryngeal nerve by the autocorrelation function of signal as reaction on the stimulation of tissues in surgical wound / Mykola Dyvak, Natalia Padletska, Andriy Pukas, Olexandra Kozak // *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics of the XIIth International Conference (CADSM)*. – Polyana-Svalyava, Ukraine, 2013. – P. 89-92.
 12. Dyvak M. An algorithm of receiving the interval characteristics of information signal in the task of identification the recurrent laryngeal nerve / Mykola Dyvak, Natalia Padletska, Andriy Pukas // *Joint Conference on Computational Problems of Electrical Engineering and Advanced Methods of the Theory of Electrical Engineering (CPEE-AMTEE)*. – Praha-Křivoklátu, Česká republika, 2013. – P.VII-1.
 13. Падлецька Н. І. Інтервальний аналіз енергетичного спектру інформаційного сигналу в задачі ідентифікації зворотного гортанного нерва / Падлецька Н. І., Дивак М. П. // *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали III Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів (АСІТ'2013)*. – Тернопіль: Економічна думка, 2013. – С. 46-47.
 14. 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 // 13th International Workshop «Computational Problems of Electrical Engineering». – Poland-Grubow, 2012. – P. 55.
15. Dyvak M. Information technology for implementing the electrophysiological method of identifying the reverse laryngeal nerve during surgery on thyroid / Mykola Dyvak, Natalia Padletska, Andriy Pukas, Olexandra Kozak // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the XIth International Conference (TCSET). – Lviv-Slavske, 2012. – P. 232.
16. Дивак М. П. Інтервальна модель для візуалізації зворотного гортанного нерва в процесі хірургічної операції на щитовидній залозі / Дивак М. П., Манжула В. І., Падлецька Н. І. // Матеріали I Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології». – Тернопіль : Економічна думка, 2011. – С. 10-11.
17. Дивак М. П. Застосування методів гарантованого інтервального оцінювання параметрів макромоделей статичних систем для задачі візуалізації зворотного гортанного нерва / М. П. Дивак, В. І. Манжула, Н. І. Падлецька // Матеріали міжнародної проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління» (ПНМК-2011). – Бучач, 2011. – С. 340-343.

АНОТАЦІЇ

Падлецька Н. І. Математичне та програмне забезпечення системи виявлення зворотного гортанного нерва. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2016.

У дисертації вирішено важливу науково-технічну задачу розроблення математичного та програмного забезпечення прикладної програмної системи виявлення зворотного гортанного нерва з-поміж м'язових тканин на хірургічній рані під час операції на щитоподібній залозі, архітектура та модулі якої відрізняється від інших систем інтегрованим використанням модулів читання, сегментації, виявлення інформативних ознак сигналу – реакції на подразнення зворотного гортанного нерва та модуля прийняття рішень, реалізованих в різних програмних середовищах, яке у сукупності забезпечує використання прикладної програмної системи в режимі реального часу.

Удосконалено інформаційну технологію, яка, на відміну від існуючих, забезпечує безпомилкове виявлення зворотного гортанного нерва.

Ключові слова: інформаційна технологія, математичне та програмне забезпечення, архітектура прикладної програмної системи, зворотний гортанний нерв, щитоподібна залоза, хірургічна рана, м'язова тканина.

Падлецька Н. И. Математическое и программное обеспечение системы обнаружения возвратного гортанного нерва. – На правах рукописи.

Дисертація на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.03 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем. – Национальный университет «Львовская политехника», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2016.

В диссертации решена важная научно-техническая задача разработки математического и программного обеспечения прикладной программной системы обнаружения возвратного гортанного нерва среди мышечных тканей на хирургической ране во время операции на щитовидной железе, архитектура и модули которой отличается

от других систем интегрированным использованием модулей чтения, сегментации, выявление информативных признаков сигнала – реакции на раздражение возвратного гортанного нерва и модуля принятия решений, реализованных в различных программных средах, которое в совокупности обеспечивает использование прикладной программной системы режиме реального времени.

Усовершенствована информационная технология, которая, в отличие от существующих, обеспечивает безошибочное обнаружения возвратного гортанного нерва.

Ключевые слова: информационная технология, математическое и программное обеспечение, архитектура прикладной программной системы, возвратный гортанный нерв, щитовидная железа, операционная рана, мышечная ткань.

Padletka N. Mathematical methods and software of computer system for detection the recurrent laryngeal nerve. – On the right of manuscript.

Thesis for a Ph.D. degree of engineering science in specialty 01.05.03 – mathematical methods and software of computer systems. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

In the thesis it was solved the actual scientific and technical task of creation the mathematical methods and software that provides high-performance monitoring the wound on the thyroid gland in real time and correct determining the recurrent laryngeal nerve (RLN).

In the first chapter it was analyzed the technical and mathematical tools and software for RLN identification. The analysis revealed the lack of mathematical tools and software with architecture which in the aggregate provides the operation of heterogeneous modules as a unified system aimed at high-performance monitoring the surgery wound and accurately determine RLN placement in real time.

In the second chapter it was analyzed the known mathematical models and was received the new models of characteristics of surgery environments as interval estimations of signal energy that is response to stimulation the tissues of surgical wound in the given range of frequencies that increase the reliability of RLN detection during the surgery and reduce the risk of its injury. It was confirmed that the risk of RLN damage reduced in a sample of about 500 patients using the proposed model of characteristics the surgery environment.

In the third chapter these were developed a new architecture and modules of applied software system for RLN monitoring which differs from other systems by using the modules of reading, segmentation and identification the informative characteristics of signal as response to RLN stimulation and decisions support module which are realized in various software environments that in general provides the software application using in real time.

In the fourth chapter based on the developed mathematical methods and software for RLN detection it was improved the information technology for RLN detection which is, unlike the existing ones, based on mathematical models of informative characteristics and interval analysis the energy spectrum of information signal, provides unmistakable RLN detection during surgery on the thyroid gland in real time.

The reliability of obtained theoretical results is confirmed by approval of the developed applied system for RLN detection during surgeries on the thyroid gland for about 500 patients by conductive the comparative analysis of using the information technology in the case of application of known ones and proposed mathematical model of characteristics of the surgery environment in the form of interval estimations the signal energy as reaction to stimulation the tissues in surgical wounds.

Keywords: information technology, mathematical methods and software, architecture of application systems, recurrent laryngeal nerve, thyroid, surgical wound, muscle tissue.

Підписано до друку 28.09.2016 р.
Формат _____. Папір офсетний.
Друк офсетний. Зам. № ____
Умов.-друк. арк. __. Обл.-вид. арк. __
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