

Голові спеціалізованої вченої ради  
ДФ 58.082.107  
Західноукраїнського національного  
університету  
доктору технічних наук, професору  
Саченку Анатолію Олексійовичу

## **РЕЦЕНЗІЯ**

доктора технічних наук, доцента, професора кафедри комп'ютерних наук  
Західноукраїнського національного університету

**Манжули Володимира Івановича**

на дисертаційну роботу Дивака Андрія Миколайовича на тему:  
«Математичне та програмне забезпечення підтримки нейромоніторингу під час операції на щитоподібній залозі», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

### **1. Актуальність теми дисертаційного дослідження.**

Актуальність дисертаційної роботи Дивака Андрія Миколайовича зумовлена значним поширенням захворювань щитоподібної залози та зростанням кількості хірургічних втручань, які, на жаль, супроводжуються ризиком пошкодження поворотного гортанного нерва (ПНГ). Як зазначається в роботі, навіть при високій кваліфікації хірурга візуальна ідентифікація нерва не завжди гарантує його цілісність, що може призвести до парезу гортані та втрати голосу пацієнтом. Існуючі системи інтраопераційного нейромоніторингу базуються на подразненні тканин у зоні хірургічного втручання поблизу поворотного гортанного нерва і подальше оцінювання м'язової реакції шляхом моніторингу скорочення голосових зв'язок. Вони хоча й знижують цей ризик, часто є вартісними, громіздкими та не завжди забезпечують адаптивність до індивідуальних електрофізіологічних особливостей пацієнта. Автор слушно зауважує, що існуючі рішення

здебільшого не вирішують задачу автоматичного налаштування параметрів стимуляційного струму та не надають хірургу інформації про відстань до нерва. У цьому контексті розробка математичного та програмного забезпечення для спеціалізованого програмно-апаратного комплексу, який розширює функціональність інтраопераційного нейромоніторингу (зокрема, через оцінювання відстані до нерва та адаптацію частоти стимуляції), є важливим науково-практичним завданням, що відповідає сучасним потребам медичної галузі та розвитку інженерії програмного забезпечення.

## **2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Дисертаційна робота Дивака А.М. є завершеним науковим дослідженням, що складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Структура роботи логічна та відповідає поставленій меті.

У вступі чітко сформульовано наукову задачу, мету та завдання дослідження, обґрунтовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

Перший розділ присвячено аналізу проблематики інтраопераційного нейромоніторингу та огляду існуючих технологій. Автором детально проаналізовано електрофізіологічні методи моніторингу та виявлено їхні недоліки, зокрема відсутність візуальної прив'язки результатів моніторингу до анатомії операційного поля та неможливість оцінки відстані до нерва на основі існуючих моделей.

У другому розділі розроблено математичне забезпечення системи. Ключовим результатом є інтервальна математична модель поширення електричного потенціалу в тканинах та формування акустичного сигналу. Автор запропонував оригінальну структуру моделі, що пов'язує амплітуду спектральної складової акустичного відгуку з відстанню до нерва. Важливим є запропонований метод ідентифікації цієї моделі з використанням

онтологічного підходу, що дозволяє скоротити час налаштування системи під конкретного пацієнта.

Третій розділ описує розроблену інформаційну технологію та архітектуру системи. Автором запропоновано метод адаптивного налаштування частоти імпульсного струму, який базується на алгоритмі тринарного пошуку, що дозволяє оптимізувати параметри стимуляції під час дихального циклу пацієнта. Також представлено вдосконалену архітектуру програмно-апаратного комплексу на базі Raspberry Pi, що реалізує принципи «single box».

У четвертому розділі висвітлено особливості програмної реалізації та користувацького інтерфейсу, а також наведено результати клінічної апробації. Порівняльний аналіз двох груп пацієнтів (з використанням розробленого комплексу та без нього) показав зниження ризику пошкодження ПГН з 10,6% до 4,5%, що переконливо свідчить про ефективність запропонованих рішень.

### **3. Наукова новизна отриманих результатів.**

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

– вперше розроблено інтервальну математичну модель поширення електричного потенціалу в тканинах операційної рани під час їх подразнення імпульсним електричним струмом та формування реакції на подразнення голосових зв'язок у вигляді акустичного сигналу, яка на відміну від існуючих моделює інтервальну відстань від точки подразнення до ПГН в залежності від амплітуди акустичного сигналу та амплітуди його головної спектральної складової, і забезпечує зниження ризику пошкодження ПГН в процесі хірургічного втручання на щитоподібній залозі;

- вперше розроблено метод ідентифікації інтервальної математичної моделі поширення електричного потенціалу в тканинах операційної рани та формування реакції на подразнення голосових зв'язок у вигляді акустичного сигналу, який на відміну від існуючих ґрунтується на поєднанні аналізу інтервальних даних та онтологічному підході, що у сукупності знижує час налаштування моделі під особливості тканин операційної рани пацієнта і

забезпечує використання цієї моделі в програмно-апаратному комплексі для зниження ризику пошкодження ПГН;

- вперше запропоновано та обґрунтовано метод та алгоритм програмного налаштування частоти слідування імпульсів електричного струму, яким подразнюють тканини поля хірургічного втручання, який на відміну від існуючих адаптує частоту імпульсного струму під електрофізіологічні характеристики тканин поля хірургічного втручання пацієнта, що забезпечує підвищення чутливості тканин до подразнення і в цілому зниження ризику пошкодження ПГН;

- удосконалено архітектуру програмного та апаратного забезпечення пристрою підтримки інтраопераційного моніторингу ПГН, який на відміну від існуючих забезпечує адаптивне та програмне налаштування частоти імпульсного струму для подразнення тканин поля хірургічного втручання та обчислення відстані від точки подразнення до ПГН на основі математичної моделі поширення електричного потенціалу в тканинах поля хірургічного втручання та формування акустичного сигналу, що у сукупності забезпечує підвищення точності класифікації тканин та зниження ризику пошкодження ПГН;

- удосконалено інформаційну технологію інтраопераційного моніторингу ПГН, яка на відміну від існуючих побудована на програмно-апаратному комплексі з функціями налаштування частоти імпульсного струму для подразнення тканин поля хірургічного втручання та обчислення відстані від точки подразнення до ПГН, що у сукупності знижує ризик пошкодження ПГН під час операції на щитоподібній залозі.

#### **4. Практичне значення дисертації.**

Практична цінність роботи полягає у створенні та впровадженні програмно-апаратного комплексу підтримки інтраопераційного нейромоніторингу. Розроблені програмні засоби дозволяють хірургу в реальному часі отримувати інформацію про відстань до нерва та автоматично підбирати оптимальні параметри стимуляції. Ефективність розробки

підтверджено актами впровадження у медичних закладах (Тернопільська міська комунальна лікарня швидкої допомоги, медичний центр «Віта Сана») та навчальному процесі Західноукраїнського національного університету.

#### **5. Дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях.**

Дисертаційну роботу викладено на 193 сторінках, при цьому обсяг основного тексту становить 157 сторінок. Ілюстративний матеріал представлено 36 рисунками та 10 таблицями, що забезпечує наочність отриманих результатів. Список використаних джерел налічує 136 найменувань. Додаткові матеріали, що підтверджують результати досліджень, винесено у 4 додатки.

Робота виконана державною мовою з дотриманням норм наукового стилю. Виклад матеріалу характеризується логічною послідовністю, чіткістю формулювань та коректним використанням професійної термінології галузі інформаційних технологій. Структура рукопису та стиль подання наукових положень, висновків і рекомендацій сприяють їх однозначному сприйняттю. Оформлення дисертації повністю відповідає вимогам нормативних документів МОН України.

Результати перевірки на наявність академічного плагіату засвідчують високий рівень оригінальності дослідження. У тексті дисертації відсутні некоректні запозичення; всі використані ідеї та розробки інших науковців супроводжуються належними посиланнями на першоджерела, що підтверджує дотримання принципів академічної доброчесності.

Основні положення дисертації повно висвітлені в 31 науковій праці, серед яких 9 статей у фахових виданнях, в тому числі публікації, що індексуються у наукометричних базах Scopus (зокрема квартилів Q2, Q3). Це свідчить про достатню апробацію результатів дослідження у науковій спільноті.

## **6. Дискусійні положення та зауваження.**

Оцінюючи роботу позитивно, варто висловити деякі зауваження та побажання:

1. У другому розділі автор використовує онтологічний підхід для ініціалізації коефіцієнтів інтервальної моделі. Було б доцільно детальніше описати, яким чином відбувається оновлення бази знань (репозиторію) після проведення нових операцій та як це впливає на точність моделі у довгостроковій перспективі.

2. У третьому розділі запропоновано алгоритм налаштування частоти в діапазоні 2-20 Гц. Доцільно було б навести додаткове обґрунтування вибору саме верхньої межі у 20 Гц, оскільки деякі літературні джерела вказують на можливість використання вищих частот для специфічних випадків.

3. У четвертому розділі наведено порівняльну статистику за період 2009-2023 років. Враховуючи тривалий період дослідження, виникає питання, чи враховувався вплив можливих змін у хірургічних методиках або інструментарії (окрім системи моніторингу) на результати у першій та другій групах.

Зазначені зауваження не знижують загальної високої оцінки наукової та практичної цінності дисертаційної роботи.

## **7. Загальний висновок.**

Дисертаційна робота Дивака Андрія Миколайовича на тему «Математичне та програмне забезпечення підтримки нейромоніторингу під час операції на щитоподібній залозі» є завершеною науковою працею, що вирішує важливе науково-прикладне завдання розробки математичного та програмного забезпечення інформаційної технології та програмно-апаратного комплексу для підтримки нейромоніторингу під час операції на щитоподібній залозі.

Враховуючи актуальність теми дослідження, ступінь наукової новизни отриманих результатів, їх теоретичну обґрунтованість, практичну значущість, повноту викладу в опублікованих працях та дотримання вимог академічної

добросовісності, дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Дивак Андрій Миколайович, заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

професор кафедри комп'ютерних наук  
Західноукраїнського національного  
університету,  
доктор технічних наук, доцент



Володимир МАНЖУЛА

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| Підпис                          | <i>Володимир Манжула</i>   |
| Завіряю:                        |                            |
| НАЧАЛЬНИК<br>ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ | <i>Ольга Селецька</i> (СЧ) |