

Голові разової спеціалізованої  
вченої ради PhD 8704  
Хмельницького національного університету,  
доктору технічних наук, професору  
Тетяні ГОВОРУЩЕНКО

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Слободзяна Віталія Олександровича  
на тему «Методи виявлення патологій серця за МРТ зображенням  
засобами пояснювального штучного інтелекту»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 «Інформаційні технології»  
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

### **Актуальність теми дисертації.**

На сьогодні у світі серцево-судинні захворювання є однією з основних причин смертності населення. Тому діагностика серцево-судинних захворювань є досить актуальним напрямком у медицині. Магнітно-резонансна томографія (МРТ) є провідним методом в медичній діагностиці, яка забезпечує візуалізацію анатомічної будови серця та локалізацію відхилень від норми. Однак значний фізіологічний розкид анатомії серця у нормі знижують точність діагностики. Це обумовлює необхідність розробки нових підходів до аналізу МРТ зображень. У цьому зв'язку перспективними є сучасні методики на основі машинного навчання та штучного інтелекту (ШІ), впровадження яких у всі сфери життя є світовим трендом. Дисертація Слободзяна В.О. якраз і присвячена цій актуальній тематиці, відкриваючи ширші можливості для ефективного автоматизованого аналізу даних в медицині.

### **Аналіз об'єкту, предмету, мети, та завдань дослідження.**

Об'єктом дослідження виступає процес аналізу МРТ зображень серця для виявлення патологій із використанням методів глибинного навчання та подальшою інтерпретацією отриманих результатів. Предметом дослідження є методи й засоби глибокого навчання, призначені для автоматизованого виявлення серцево-судинних патологій на основі МРТ-зображень.

Метою дослідження визначено підвищення точності сегментації та класифікації МРТ зображень серця, а також забезпечення інтерпретованості діагностичних рішень, сформованих моделями глибокого навчання.

Мета досягається шляхом розв'язання наступних завдань:

– провести аналіз сучасного стану методів і засобів глибокого навчання, що застосовуються для обробки та аналізу медичних зображень, зокрема МРТ серця, виявлення патологій, а також методів інтерпретації результатів систем штучного інтелекту;

- розробити метод багатоступеневої сегментації області серця на МРТ зображеннях на регіони правого шлуночка, лівого шлуночка та міокарда, який поєднує моделі U-Net і ResNet для локалізації та сегментації серцевих структур і включає згладжування Гауса для уточнення контурів та зменшення артефактів;
- розробити метод каскадної класифікації патологій, зокрема дилатаційної та гіпертрофічної кардіоміопатій, інфаркту міокарда зі зниженою фракцією викиду, аномального правого шлуночка та нормального стану на основі сегментованих МРТ зображень для підвищення точності диференціальної діагностики серцевих захворювань;
- запропонувати метод інтерпретації рішень моделей глибокого навчання на основі ознак, що використовуються у медичній діагностиці, з метою забезпечення клінічної обґрунтованості результатів;
- провести експериментальні дослідження ефективності розроблених методів вирішення поставлених завдань.

### **Наукова новизна отриманих автором результатів.**

1) вперше запропоновано метод багатоступеневої сегментації зображення серця на області правого і лівого шлуночків та міокарда, який відрізняється від існуючих наявністю ряду етапів: попередня локалізацію окремих областей серця з допомогою засобів глибокого навчання; визначення точних контурів кожної області серця, згладжування Гауса для уточнення контурів і зменшення впливу артефактів, що разом дозволило підвищити точність сегментації;

2) вперше запропоновано метод класифікації патологій на основі МРТ зображень, який відрізняється від існуючих глибоким навчанням, застосуванням каскаду класифікаторів та даних про сегментацію областей серця, що дозволило підвищити точність класифікації дилатаційної кардіоміопатії, гіпертрофічної кардіоміопатії, інфаркту міокарда зі зниженою фракцією викиду, аномального правого шлуночка;

3) вперше запропоновано метод інтерпретації МРТ зображень, який відрізняється від існуючих використанням даних як класифікації, так і сегментації, а також використанням ознак, які застосовуються у медичній діагностиці, що дозволило зробити отриманні висновки зрозумілими для лікаря.

### **Аналіз змісту дисертації.**

У вступі обґрунтовано актуальність обраного наукового напрямку, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну, практичне значення результатів та їх зв'язок із планами наукових робіт.

Перший розділ містить огляд сучасного стану щодо автоматизованого аналізу МРТ зображень серця із залученням методів штучного інтелекту.

Узагальнено наукові підходи до сегментації, класифікації та інтерпретації медичних зображень із фокусом на застосування моделей глибокого навчання. Особливу увагу приділено характеристикам медичних даних, специфіці серцевої анатомії та діагностично цінним ознакам.

У Розділі 2 наведено розроблені методи автоматизованого аналізу МРТ зображень серця. Зокрема, обґрунтовано та реалізовано багатоступеневий підхід до сегментації анатомічних структур (лівого й правого шлуночків та міокарда), який поєднує моделі U-Net і ResNet з етапом постобробки результатів методом гаусівського згладжування. Також запропоновано метод каскадної класифікації патологій, що зменшує ймовірність помилок при розрізненні схожих нозологічних форм.

У Розділі 3 описано підходи до інтерпретації рішень, прийнятих нейронними мережами, у форматі, зрозумілому для медичних фахівців. Запропоновано підхід до пояснення результатів класифікації із залученням сегментаційної інформації та клінічно релевантних кількісних ознак. Такий підхід підвищує прозорість, довіру та клінічну обґрунтованість застосування штучного інтелекту в медичній діагностиці.

У четвертому розділі наведено результати експериментальної перевірки ефективності розроблених методів. Проведено оцінювання точності сегментації та класифікації, а також рівня інтерпретованості рішень. Порівняння з існуючими підходами дозволило обґрунтувати переваги запропонованих рішень і підтвердити їхню придатність до практичного впровадження у системи медичної підтримки прийняття рішень.

В останньому розділі узагальнено основні теоретичні та прикладні результати дисертаційного дослідження. Висновки подано послідовно, у логічному зв'язку з викладеним у попередніх розділах матеріалом.

Таким чином зміст і структура дисертаційної роботи свідчать про належний рівень наукової підготовки здобувача та його здатність до самостійного вирішення складних науково-прикладних завдань у межах обраної тематики. Виклад тексту дисертації відзначаються логічністю, структурною завершеністю та відповідністю академічним вимогам до наукових кваліфікаційних праць.

### **Аналіз вимог щодо оформлення, мови, стилю, структури та обсягу.**

Дисертаційна робота містить анотацію, вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел (147 найменувань) та 4 додатки. Загальний обсяг дисертації 180 сторінок, з них – 142 сторінки основного тексту, 60 рисунків та 14 таблиць. Дисертаційна робота написана українською мовою, стиль викладу зрозумілий, здобувач використовує загальноприйняту наукову термінологію у даній галузі. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами).

### **Ідентичність анотації та основних положень дисертаційної роботи.**

Анотація в повній мірі розкриває зміст дисертаційної роботи, а основні положення, наведені в анотації, ідентичні основним положенням дисертаційної роботи.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Слободзяна В.О. повністю відповідає Стандарту ВО зі спеціальності 122. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у комп'ютерні науки, зокрема у напрям розробки методів глибокого навчання для автоматизованої сегментації та класифікації серцевих патологій на основі МРТ зображень.

Розглянувши звіти подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, виконані в системі StrikePlagiarism, від 27.03.2025 р (українська мова) та від 29.03.2025 р (англійська мова), можна зробити висновок, що дисертаційна робота Слободзяна Віталія Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. З тексту дисертації видно, що всі цитати оформлені належним чином, а літературні джерела, з яких взяті цитування, наявні у списку використаних джерел. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Також, вивчення тексту дисертації дозволяє зробити висновок про те, що вона не містить елементів фальсифікації, компіляції та фабрикації.

Отже, представлена дисертаційна робота є оригінальним дослідженням, фактів порушення принципів академічної доброчесності не виявлено.

### **Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових результатів.**

Отримані в дисертації результати, наведені висновки та рекомендації достатньо обґрунтовані, в повній мірі відображають процес досліджень, висвітлені у публікаціях автора. Основні результати дисертації пройшли апробацію, доповідались на наукових конференціях та семінарах, підтверджуються публікаціями здобувача та довідкою про впровадження, яка засвідчує рівень проведених досліджень та зацікавленість у їх впровадженні.

В тексті дисертації наведено аналіз відомих методик, що дозволяє визначити переваги та недоліки кожної з них. Такий підхід до аналізу забезпечує високий ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у роботі.

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним застосуванням загальноприйнятого математичного апарату, відповідністю теоретичних розрахунків та експериментальних даних, порівнянням з відомими результатами в даній галузі. Дослідження проводилося на достатньо високому науковому рівні, а досягнуті результати, сформульовані висновки та надані рекомендації відповідають сучасному рівню у галузі.

Отже, отримані в дисертаційній роботі результати в достатній мірі достовірні та обґрунтовані; поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

Практичне значення полягає в розробленні та впровадженні ефективних методів автоматизованого аналізу МРТ зображень серця, орієнтованих на потреби сучасної клінічної діагностики. Представлені в роботі підходи забезпечують як високу точність виявлення кардіологічних патологій, так і зрозуміле, інтерпретоване подання результатів, що є важливим при впровадженні систем штучного інтелекту в медичну практику.

Запропонований метод багатоступеневої сегментації реалізує послідовну локалізацію структур серця, визначення їх контурів і подальшу постобробку, що дозволяє отримати сегментаційні маски для подальшої діагностичної обробки. Каскадний підхід до класифікації дозволяє мінімізувати помилки у розрізненні подібних патологій, що сприяє підвищенню надійності діагностичних висновків. Розроблений метод інтерпретації рішень, заснований на використанні клінічно релевантних кількісних і візуальних показників, дозволяє забезпечити прозорість і клінічну обґрунтованість висновків нейронної моделі.

Ефективність розроблених методів підтверджена впровадженням результатів у компанії ТОВ «АЙ ТІ ХУТ», медичному закладі «Сіліця Сіті+» для комп'ютерної діагностики МРТ, у межах виконання держбюджетної НДР «Система виявлення ЗПЗ та комп'ютерних атак в корпоративних мережах з використанням хибних об'єктів атак та пасток» (ДР № 0124U000980), а також у навчальному процесі Хмельницького національного університету для студентів спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки». Це свідчить про високу практичну цінність результатів дисертаційної роботи та її готовність до впровадження в медичну практику.

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Апробація матеріалів дисертації здійснювалася шляхом представлення результатів дослідження на міжнародних наукових заходах. Основні положення дисертації були оприлюднені на 5th International Conference on Informatics&Data-Driven Medicine (Ліон, Франція, 2022), 6th International Conference on Informatics&Data-Driven Medicine (Братислава, Словаччина, 2023), а також на конференції InformationT echnology and Implementation (Київ, Україна, 2024). Участь здобувача в міжнародних наукових форумах засвідчує відкритість проведеного дослідження до зовнішньої експертизи та зацікавленість наукової спільноти в отриманих результатах.

### **Особистий внесок здобувача.**

Внесок полягає у самостійному формулюванні, обґрунтуванні та реалізації основних наукових і прикладних рішень, представлених у

дисертації. Здобувач самостійно розробив метод багатоступеневої сегментації серцевих структур, каскадну систему класифікації патологій та метод інтерпретації рішень моделей глибокого навчання у формі, зрозумілій медичним фахівцям.

Здобувач реалізував повний цикл досліджень від теоретичного обґрунтування й математичного моделювання до програмної реалізації, експериментального аналізу та формулювання висновків. У роботах зі співавторами він виконав основну частину технічної, дослідницької та аналітичної роботи. Усі результати, подані в дисертації, є наслідком безпосередньої наукової діяльності здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Зауваження по змісту дисертації:

1) Має місце невідповідність у обсягах висвітлення окремих частин роботи. Так, метод сегментації розкрито досить детально на 27 сторінках, в той час як опис методу інтерпретації викладено на 8-ми сторінках, а методу класифікації – лише 5 сторінок. Доцільно було б забезпечити більш рівномірний опис кожного з методів для збалансованого представлення результатів дослідження.

2) Для моделі генерації масок правого шлуночка динаміка функції втрат виглядає надто помірною, що може свідчити про недостатньо добре збалансовані параметри навчання. З рисунку 4.22 видно, що протягом більш ніж 50 епох втрати майже не змінюються. При цьому модель для лівого шлуночка показує значно менші втрати (рис. 4.21).

3) Формулювання висновків у деяких розділах мають якісний (описовий) характер, при цьому кількісні оцінки наведено в недостатній мірі.

Також є певні недоліки в оформленні та термінології, зокрема

4) У тексті простежується надмірне багатократне розкриття аббревіатур, зокрема таких, як “дилатаційна кардіоміопатія (DCM)” та інших патологій, які вже наведені в переліку умовних скорочень і неодноразово згадуються у 2-му (стор. 77, 85) та 4-му розділах (стор. 136). Після першого згадування аббревіатури необхідно вживати лише скорочену форму для уникнення перевантаження тексту.

5) На рисунках 4.28 – 4.33 присутні орфографічні помилки, зокрема одночасно використано некоректну форму “систулі” та правильну – “систоли”.

Проте зазначені недоліки та зауваження не зменшують наукову новизну та практичну цінність результатів дослідження та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. В цілому дисертація є завершеною науковою роботою, її текст в повній мірі розкриває процес наукового дослідження та суть отриманих результатів.

### Висновок.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Слободзяна Віталія Олександровича на тему «Методи виявлення патологій серця за МРТ зображенням засобами пояснювального штучного інтелекту» не порушує принципів академічної доброчесності, виконана на високому науковому рівні, є закінченим науковим дослідженням, містить обґрунтовані наукові результати, які розв'язують наукове завдання в галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені пунктами 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

Здобувач Слободзян Віталій Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 "Інформаційні технології" за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

Головний науковий співробітник  
відділу сенсорних пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики  
Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова  
Національної академії наук України



Т.Н., с.н.с.

/  /

Микола БУДНИК

« 30 » травня 2025 року

