

*Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Національного технічного університету  
України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»  
доктору технічних наук, професору  
Роліку Олександровичу Івановичу*

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Гнатушенка Володимира Володимировича на дисертаційну роботу  
**Коломойця Сергія Олексійовича**

на тему **«Методи інтелектуального прогнозування артеріального тиску та класифікації артеріальної гіпертензії»**,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 Інформаційні технології  
за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальність дисертаційної роботи С.О. Коломойця обумовлена надзвичайно гострою проблемою зростання захворюваності та смертності від серцево-судинних хвороб, які продовжують займати перше місце серед причин смерті як в Україні, так і в усьому світі. Найбільшу загрозу становлять інфаркти та інсульти — патології, яким у більшості випадків можна запобігти за умови своєчасної діагностики та постійного моніторингу артеріального тиску. Особливе занепокоєння викликає те, що майже половина дорослих із підвищеним тиском навіть не підозрюють про наявність артеріальної гіпертензії. У цьому контексті особливої значущості набуває розробка індивідуалізованих, безманжетних систем моніторингу артеріального тиску з можливістю його прогнозування в часовому вимірі. Також вкрай актуальною є необхідність створення інтелектуальних діагностичних систем, здатних точно визначати ступінь артеріальної гіпертензії. Застосування штучного інтелекту, зокрема гібридних нейронних мереж ансамблевого типу, відкриває нові перспективи у сфері медичної діагностики та превентивної медицини. У дисертації автором запропоновано ефективні підходи до вирішення цих завдань, що відповідають світовим науковим трендам та мають важливе практичне значення для систем охорони здоров'я, сприяючи зниженню смертності та підвищенню якості життя пацієнтів.

## **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертації мають високий ступінь обґрунтованості та достовірності, які базуються на опрацюванні сучасних і ретроспективних наукових розробок з питань інтелектуального прогнозування артеріального тиску та класифікації артеріальної гіпертензії. Наукові положення у повній мірі досліджені, про що свідчить структурна побудова та зміст роботи. Мета, яка полягає в створенні методів обробки сигналів безманжетного вимірювання артеріального тиску з подальшим його прогнозуванням та розробці інтелектуальних методів класифікації типу артеріальної гіпертензії на основі використання гібридних нейронних мереж ансамблевого типу, визначена коректно. Завдання дослідження логічно узгоджені з метою роботи та забезпечують її комплексне розкриття. Достовірність і обґрунтованість наукових результатів підтверджуються також впровадженням методів, алгоритмів та підходів в діяльність ДУ «Національний науковий центр імені академіка М.Д. Стражеска».

Робота побудована цілісно, всі розділи та підрозділи логічно пов'язані між собою, що забезпечує системний підхід до вирішення поставленої наукової проблеми класифікації ступеню артеріальної гіпертензії та прогнозування артеріального тиску.

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

Аналіз викладених у дисертаційній роботі наукових положень дає змогу стверджувати, що робота містить ряд нових теоретичних і науково-прикладних положень, найбільш суттєвими з яких, на мій погляд, з огляду на наукову і практичну значущість є такі результати, що містять елементи наукової новизни:

- вперше запропоновано метод для обробки даних артеріального тиску у хворих, який відрізняється тим, що на основі методів безманжетного вимірювання здійснює попередню обробку отриманих даних та подальше прогнозування на основі використання гібридних рекурентних нейронних мереж, горизонт прогнозу яких адаптовано під поточний стан пацієнта, що дає можливість знизити імовірність виникнення інсульту або інфаркту у хворих в середньому на 10%;

- удосконалено метод вирішення задачі класифікації та знижено обчислювальні витрати при машинному навчанні гібридних нейронних мереж за рахунок визначення найбільш впливових ознак артеріальної гіпертензії для різних ступенів захворювання, які крім загальних ознак (анамнез, результати

огляду лікаря, результати аналізів крові, сечі, вимірювання артеріального тиску) включають результати обробки ЕКГ, ЕхоКГ;

– розроблено метод структурно-параметричного синтезу гібридної нейронної мережі для розв’язання задачі класифікації ступеня артеріальної гіпертензії, який відрізняється тим, що гібридна нейронна мережа будується на основі створення беггінг-ансамблю інтелектуальних класифікаторів, включених в ансамбль за критеріями точності та різноманіття, що дозволяє підвищити точність класифікації.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.**

Результати дисертаційного дослідження мають як теоретичне, так і практичне значення, створюючи фундамент для майбутніх досліджень у сфері використання гібридних рекурентних нейронних мереж. На підставі розробленого математичного забезпечення:

– розроблені інтелектуальні методи та алгоритми прогнозування значень артеріального тиску на основі використання безманжетного вимірювання, що дозволило підвищити рівень запобігання інсультів та інфарктів у хворих;

– розроблено новий підхід до діагностування ступеню артеріальної гіпертензії у хворих;

– використання запропонованих методів та алгоритмів у ДУ «Національний науковий центр імені академіка М.Д. Стражеска», що дозволило підвищити рівень запобігання інсультів і інфарктів у хворих.

### **Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.**

Ознайомлення з дисертацією та науковими публікаціями Коломойця Сергія Олексійовича дозволяє зробити висновок, що основні положення дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені у п’яти наукових публікаціях здобувача, серед яких: три статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України. Також результати дисертації були апробовані на чотирьох наукових фахових конференціях.

Наукові публікації здобувача мають високий науковий рівень і пройшли відповідне рецензування. Публікації мають високий науковий рівень, що є результатом самостійних досліджень здобувача і не містять елементів плагіату та запозичень. В усіх наукових публікаціях здобувача дотримано принципів академічної доброчесності. Особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих зі співавторами є вагомим.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено послідовно та доступно, науковим стилем мовлення із використанням сучасної загальноприйнятої термінології.

### **Зміст дисертації, новизна розроблених наукових положень.**

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 210 найменувань та одного додатку. Загальний обсяг дисертації складає 150 сторінок, містить 47 рисунків та 21 таблицю.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено його зв'язок із науковими програмами та проєктами. Сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, окреслено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів. Наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів та публікації за темою дисертації.

У *першому розділі* автором представлено огляд розповсюдженості артеріальної гіпертензії як у світі, так і в Україні, із зазначенням того, що поточний стан вирішення цієї проблеми не відповідає міжнародним, зокрема європейським, стандартам. Особливу увагу приділено фактичній відсутності широкого застосування технологій безманжетного вимірювання тиску в повсякденній медичній практиці. Також здійснено аналіз наявних приладів для безманжетного моніторингу артеріального тиску.

У *другому розділі* дисертантом обґрунтовано доцільність застосування методів прогнозування часових рядів для передбачення змін артеріального тиску у пацієнтів. Зокрема, автором запропоновано новий підхід до прогнозування, який поєднує етапи попередньої обробки результатів вимірювання з подальшим використанням методів аналізу часових рядів. Проведено огляд сучасних наукових підходів до попередньої обробки даних, у межах якого автором обґрунтовано необхідність застосування методів фільтрації шумів, виявлення та усунення аномалій, а також заповнення пропущених значень. Заслуговує на увагу використання дисертантом реальних клінічних даних, наданих Державною установою «Національний науковий центр ім. акад. М.Д. Стражеска», що підвищує прикладну цінність проведеного дослідження. Окремо проаналізовано ефективність різних методів прогнозування часових рядів для даних артеріального тиску. Автором

показано, що найкращі результати демонструють моделі, побудовані на основі рекурентних нейронних мереж, зокрема архітектури LSTM, GRU та BI-LSTM. З метою подальшого підвищення точності прогнозу дисертантом запропоновано новий підхід, що передбачає побудову гібридних моделей на основі принципу бустингу шляхом послідовного об'єднання різних типів рекурентних мереж.

У *третьому розділі* дисертантом вирішено важливу науково-прикладну задачу — визначення інформативних ознак, що характеризують різні ступені артеріальної гіпертензії. Для кожного ступеня АГ запропоновано відповідні набори параметрів. Дисертантом обґрунтовано доцільність застосування гібридних нейронних мереж, збудованих за ансамблевим принципом, для класифікації ступенів АГ. Зокрема, показано, що найбільш ефективним виявився підхід із використанням методу бегінгу. Заслуговує на увагу розроблений автором новий метод класифікації, що демонструє високу ефективність при розв'язанні задачі багаторівневої диференціації ступенів артеріальної гіпертензії. Отримані результати свідчать про надійність і точність запропонованого підходу.

У *четвертому розділі* дисертації автором розроблено інформаційну технологію для інтелектуального прогнозування артеріального тиску та запропоновано сценарії її практичного застосування. Представлена технологія базується на результатах попередніх етапів дослідження та враховує особливості безманжетного вимірювання тиску в поєднанні з методами штучного інтелекту. Окрему увагу приділено опису функціональної архітектури, алгоритмів обробки даних та варіантів інтеграції з існуючими медичними інформаційними системами.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Коломойця С.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 12 Інформаційні технології та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми 126 Інформаційні системи та технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям методи машинного і глибокого навчання.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Коломойця Сергія Олексійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Виявлений відсоток співпадинь пояснюється стандартами оформлення дисертаційних

робіт. Дисертація написана з дотриманням принципів академічної доброчесності.

### **Зауваження.**

У цілому, позитивно оцінюючи подану до захисту дисертаційну роботу, водночас, варто звернути увагу на деякі дискусійні положення дисертаційної роботи:

1. Попри доцільність використання ансамблевого підходу в задачі класифікації ступеня артеріальної гіпертензії, поданий у роботі новий підхід не супроводжується достатньо глибоким порівняльним аналізом з іншими сучасними підходами, зокрема з трансформерними архітектурами. Крім того, автором не розглянуто вплив різних комбінацій критеріїв точності та різноманіття на кінцеву якість класифікації, що дещо обмежує загальність отриманих висновків.
2. У роботі автором не достатньо обґрунтовано вибір функціональної структури інформаційної технології прогнозування артеріального тиску, немає порівняння переваг та недоліків з іншими рішеннями.
3. Дисертанту було б доцільно окреслити межі застосовності розроблених методів, зокрема оцінити умови, при яких додаткова точність від застосування оригінального підходу переважає витрати на його застосування. Крім того, поза увагою залишені питання числової стійкості та необхідних обчислювальних ресурсів розроблених автором методів при їхній комп'ютерній реалізації.
4. Хоча висновки і зазначають отримані наукові результати, які повністю відповідають задачам дисертаційного дослідження, але написані в стилі анотації і недостатньо відображають досягнення мети дослідження, яку поставив перед собою автор. Висновки до розділів теж потребують доопрацювання, зокрема їх бажано б було закінчувати фразою: «Основні наукові *результати розділу опубліковані в працях автора [...]*». Посилання на власні праці автора дало б змогу легко пересвідчитися у виконанні вимоги щодо обов'язкової публікації основних результатів дисертації.
5. У деяких розділах дисертації спостерігається надмірна кількість загальновідомої інформації, яку доцільніше було б винести до додатків. Також у тексті трапляються окремі невдалі формулювання, друкарські помилки та стилістичні недоліки.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Загальна оцінка дисертаційної роботи.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Коломойця Сергія Олексійовича на тему «Методи інтелектуального прогнозування артеріального тиску та класифікації артеріальної гіпертензії» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання інтелектуальної класифікації ступеню артеріальної гіпертензії та прогнозування артеріального тиску. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені пп. 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.

Здобувач Коломоєць Сергій Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології.

### **Офіційний опонент:**

Завідувач кафедри інформаційних технологій  
та комп'ютерної інженерії

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»

доктор технічних наук, професор

 Володимир ГНАТУШЕНКО

*Підпис В.В. Гнатушенка засвідчую*

### **Вчений секретар**

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»

 Таїсія КАЛЮЖНА

