

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

на тему Методи виявлення патологій за сигналом електрокардіограми
засобами пояснювального штучного інтелекту

(назва роботи)

здобувача наукового ступеня доктора філософії

Ковальчука Олексія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

з галузі знань 12 – Інформаційні технології

(шифр, назва галузі знань)

за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

(шифр, назва спеціальності)

Публічна презентація проведена на міжкафедральному фаховому науково-
практичному семінарі кафедри комп'ютерних наук та кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних систем

(назва)

«___» квітня 2025 року, протокол № 1

1. Актуальність теми дослідження.

Відповідно до статистики Всесвітньої організації охорони здоров'я найбільшу кількість смертей людей спричиняють серцево-судинні захворювання. Зокрема, у США у 2018 році понад 560 000 висновків про смерть включали аритмію як одну з причин. Одним з найбільш поширених засобів є електрокардіографія, яка надає можливість графічно реєструвати електричні явища з тіла людини, які виникають у серцевому м'язі під час його діяльності. Криву, що отримується в результаті фіксації такої активності, називають електрокардіограмою (ЕКГ). Опираючись на записи ЕКГ-сигналу, лікарі інтерпретують їх за різними показниками для виявлення причин скарг пацієнтів на дискомфорт або біль у грудях, які можуть бути пов'язані із серцем.

Оскільки існує багато типів можливих відхилень ЕКГ від норми та можливі великі за обсягом ЕКГ-записи (такі, як холтери), то процес їх аналізу може бути затратним за часом та з імовірними помилками. Саме тому для вирішення зазначених проблем застосовуються методи та підходи інформаційних технологій. Зокрема, у зв'язку з активним розвитком штучного інтелекту набули широкого використання такі інструменти, як машинне навчання і глибоке навчання для класифікації патологій на ЕКГ-сигналах.

Використання нейронних мереж глибокого навчання у класифікації ЕКГ вже продемонструвало свою ефективність у виявленні різноманітних серцевих патологій, таких як аритмії, міокардит тощо. Попри значні досягнення у цій сфері, робота моделей глибокого навчання залишається «чорною скринею» для кінцевого користувача, що дуже критично для такої сфери, як медицина.

Виходячи з наведеного, задача ідентифікації патологій аритмій на ЕКГ-сигналі, яка не тільки виявляє патології аритмій, але й «пояснює», чому саме такі рішення прийняті, є досить актуальною. Тому дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково-прикладної задачі виявлення патологій аритмій за ЕКГ-сигналами з використанням методів пояснювального

штучного інтелекту, під яким розуміється використання засобів і методів, спрямованих для інтерпретації результатів, які генерує нейронна мережа.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, результати яких викладено в дисертації, виконано під час виконання окремих розділів науково-дослідної роботи за держбюджетною темою Хмельницького національного університету «Система виявлення ЗПЗ та комп'ютерних атак в корпоративних мережах з використанням хибних об'єктів атак та пасток» (ДР № 0124U000980). У межах проведеної науково-дослідної роботи за держбюджетною темою, автор здійснив розробку методів обробки інформації предметної галузі засобами штучного інтелекту, а також виконав оцінку отриманих результатів за ключовими метриками: Accuracy, Recall, F1-score та ROC-AUC.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

У дисертації одержані такі нові наукові результати:

1. Розроблено новий метод ідентифікації R-зубців на ЕКГ-сигналі, який відрізняється від існуючих використанням моделі глибокого навчання з двома входними сигналами – ЕКГ-сигналом та, синхронним з ним, сигналом з прогнозованим розташуванням R-зубців, що дало змогу підвищити точність ідентифікації;

2. Удосконалено метод класифікації патологій аритмій на ЕКГ-сигналі, який відрізняється від відомих використанням тріади кардіоциклів, що дозволяє сформувати контекстну інформацію виникнення кардіоциклу, для подальшої класифікації вдосконаленою архітектурою моделі глибокого навчання, що дозволило збільшити кількість патологій для розпізнавання та підвищити точність класифікації;

3. Вперше розроблено метод інтерпретації результатів класифікації патологій аритмій, отриманих з ЕКГ-сигналу за моделями глибокого навчання, що дало змогу подати результати класифікації за ознаками, що використовуються у медичній практиці.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Практичне значення отриманих результатів полягає в доведенні теоретичних результатів дисертаційної роботи до реалізації та у безпосередньому використанні їх у відповідних медичних установах.

Реалізована інформаційна система на основі методі пошуку R-зубців та класифікації ЕКГ-сигналу на наявність патологій аритмій забезпечують користувачу прогнози наявності патологій аритмій 9 підтримуваних класів для всіх виявлених кардіоциклів, що несе рекомендаційний характер та пришвидшує роботу лікаря в аналізі ЕКГ-сигналу.

Реалізована інформаційна система включає використання методу інтерпретації рішень класифікації патологій аритмій, отриманих за моделями глибокого навчання, дозволяє подати лікарю результати класифікації за ознаками, що використовуються в медичній практиці. Такий підхід робить рішення моделей глибокого навчання більш доступними для лікаря, забезпечуючи довіру до отриманих результатів.

Реалізована інформаційна система класифікації патологій аритмій та інтерпретації результатів класифікації базується на клієнт-серверній архітектурі, що дає змогу виконувати всі обчислення на віддаленому сервері

з потужним обладнанням, тоді як клієнт здійснює лише передачу даних, отримання та візуалізацію результатів, що дає можливість використовувати систему в невеликих клініках з обмеженими обчислювальними ресурсами.

5. Використання результатів роботи. Теоретичні та практичні результати дослідження впровадженні в медичному лікувально-діагностичному центрі «Сіліція-Сіті+» (довідка про впровадження); ТОВ «АЙ ТІ ХУТ» (довідка про впровадження); у навчальному процесі Хмельницького національного університету (акт впровадження); при виконанні держбюджетної теми Хмельницького національного університету «Система виявлення ЗПЗ та комп'ютерних атак в корпоративних мережах з використанням хибних об'єктів атак та пасток» (ДР № 0124U000980)

6. Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі Ковальчука О.В.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерних наук Хмельницького національного університету,

(назва кафедри (відділу), назва установи)

науковий керівник д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук Бармак О.В.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище, ініціали)

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, встановлено, що дисертаційна робота Ковальчука О.В.

(прізвище, ініціали здобувача)

є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 9 наукових праць. Основні результати дисертації викладені у: 1 статті, у періодичному виданні що індексується в наукометричних базах Scopus, Web of Science (періодичне видання 1-го квартилю, що індексується в наукометричних базах Scopus та WoS і, згідно із п.8 Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, прирівнюється до двох публікацій); 3 статті у фахових наукових журналах України, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії Б (3 статті зараховані як 3 публікації згідно із п.8 Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44). **Отже, для захисту зараховано 5 наукових публікацій з викладеними основними результатами досліджень.** Крім цього, результати дисертації викладені у 4 публікаціях, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації (статті в матеріалах конференцій, що індексуються в наукометричній базі Scopus) та у 1 свідоцтві про реєстрацію авторського права на твір.

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації (закордонні видання, проіндексовані у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus та періодичні видання, включені до категорії «Б» переліку наукових фахових видань України):

1. Towards transparent AI in medicine: ECG-based arrhythmia detection with explainable deep learning / O. Kovalchuck et al. *Technologies*. 2025. Vol. 13, no. 1. P. 34. (<https://doi.org/10.3390/technologies13010034>) (індексована в наукометричних базах Scopus, Web of Science (Q1 by Scimago Journal & Country Rank)).

Ковальчуком О.В. розроблено методи класифікації аритмії на ЕКГ-сигналі засобами пояснювального глибокого навчання, проведено дослідження та аналіз результатів, підготовлено рукопис; Бармак О.В. виконував концептуалізацію дослідження, огляд відомих методів та рішень, обговорення результатів дослідження, підготовку чернетки рукопису, пошук коштів на публікацію статті; Крак Ю.В. виконував концептуалізацію дослідження, обговорення результатів дослідження; Радюк П.М. разом із автором працював над методологією дослідження та опрацьовував його результати, а також виконував огляд відомих методів та рішень, підготовку чернетки рукопису; Клименко Л.В. була консультантом з медичних аспектів роботи.

2. Kovalchuk O. V., Barmak O. V. Method of arrhythmia classification on ECG signal. *Optoelectronic Information-Power Technologies*. 2024. Vol. 48, no. 2. P. 34–44. (<https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-48-2-34-44>).

Ковальчуком О.В. розроблено метод класифікації аритмії на ЕКГ-сигналі, проведено дослідження та аналіз результатів, підготовлено рукопис; Бармак О.В. виконував адміністрування та концептуалізацію дослідження, рецензування та коригування рукопису.

3. Ковальчук О. В., Бармак О. В. Метод ідентифікації R-піків у сигналах електрокардіограми. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2024. № 6. С. 108–117. (<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-343-6-16>).

Ковальчуком О.В. розроблено метод ідентифікації R-зубців у сигналах електрокардіограми, проведено дослідження та аналіз результатів, підготовлено рукопис; Бармак О.В. виконував адміністрування та концептуалізацію дослідження, рецензування та коригування рукопису.

4. Ковальчук О. В., Бармак О. В. Метод інтерпретації результатів класифікації ЕКГ методами глибокого навчання. *Проблеми моделювання та автоматизації проектування*. 2024. Т. 2, № 20. С. 120–130. (<https://doi.org/10.31474/2074-7888-2024-2-20-120-130>)

Ковальчуком О.В. метод інтерпретації результатів класифікації ЕКГ методами глибокого навчання, проведено дослідження, підготовлено рукопис; Бармак О.В. виконував адміністрування та концептуалізацію дослідження, рецензування та коригування рукопису.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Human-in-the-loop approach based on MRI and ECG for healthcare diagnosis / P. Radiuk et al. *CEUR-WS*. 2022. Vol. 3302. P. 9–20. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3302/paper1.pdf> (індексована в наукометричній базі Scopus).

Ковальчук О.В. спільно з автором працював над додаванням синхронних сигналів можливого розміщення зубців для збільшення семантики ЕКГ-сигналу,

щоб покращити виділення зубців та сегментів ЕКГ-сигналу; Радюк П.М. виконував концептуалізацію дослідження, обговорення його результатів, адміністрування проєктом, підготовкою чернетки рукопису; Бармак О.В. та Крак Ю.В. виконували концептуалізацію дослідження, обговорення його результатів, рецензування та коригування рукопису; Слободзян В.О. спільно з автором працював над обробкою МРТ зображень серця для подальшої сегментації; Манзюк Е.А. разом з автором працював над оглядом існуючих методів та рішень, підготовкою чернетки рукопису.

6. A novel feature vector for ECG classification using deep learning / O. Kovalchuk et a. CEUR-WS. 2023. Vol. 3373. P. 227–238. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3373/paper12.pdf> (індексована в наукометричній базі Scopus).

Ковальчуком О.В. розроблено метод класифікації ЕКГ за допомогою вектору ознак за глибоким навчання, проведено дослідження та аналіз результатів, підготовлено рукопис; Бармак О.В. та Крак Ю.В. виконували концептуалізацію дослідження, обговорення його результатів, рецензування та коригування рукопису; Радюк П.М. разом з автором працював над методологією дослідження та опрацьовував його результати, підготовкою чернетки рукопису; Петровський С.С. спільно з автором працював над оглядом існуючих методів та рішень.

7. Kovalchuk O., Radiuk P., Barmak O. та Krak Iu. Robust R-peak detection using deep learning based on integrating domain knowledge. CEUR-WS. 2023. Vol. 3609. P. 1–14. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3609/paper1.pdf> (індексована в наукометричній базі Scopus).

Ковальчуком О.В. розроблено метод виявлення R-зубців на ЕКГ-сигналі із доданим синхронним сигналом можливого розташуванням R-зубців для підвищення точності виявлення за допомогою моделі глибокого навчання, проведено дослідження та аналіз результатів, підготовлено рукопис; Бармак О.В. та Крак Ю.В. виконували концептуалізацію дослідження, обговорення його результатів, рецензування та коригування рукопису; Радюк П.М. спільно з автором працював над методологією дослідження, аналізом його результатів, оглядом існуючих методів і рішень, а також підготовкою чернетки рукопису.

8. Kovalchuk O., Radiuk P., Barmak O. та Krak Iu. ECG Arrhythmia Classification and Interpretation using Convolutional Networks for Intelligent IoT Healthcare System. CEUR-WS. 2024. Vol. 3736. P. 47–62. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3736/paper4.pdf> (індексована в наукометричній базі Scopus).

Ковальчуком О.В. розроблено метод класифікації та інтерпретації патологій аритмії на ЕКГ з використанням згорткових мереж для інтелектуальної IoT систем охорони здоров'я, проведено дослідження та аналіз результатів, підготовлено рукопис; Бармак О.В. та Крак Ю.В. виконували концептуалізацію дослідження, обговорення його результатів, рецензування та коригування рукопису; Радюк П.М. спільно з автором працював над методологією дослідження, аналізом його результатів, оглядом існуючих методів і рішень, а також підготовкою чернетки рукопису.

9. А. с. 132579 Україна. Комп'ютерна програма «Класифікація ЕКГ на наявність аритмій з подальшою інтерпретацією результатів» / О. В. Ковальчук, О. В. Бармак, П. М. Радюк. 2025,

Ковальчуком О.В. розроблено комп'ютерну програму «Класифікація ЕКГ на наявність аритмій з подальшою інтерпретацією результатів»; Бармак О.В.

та Радюк П.М. виконували адміністрування та концептуалізацію програми, рецензування та коригування рукопису для реєстрації авторського права.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Ковальчука О.В.

(прізвище, ініціали здобувача)

«Методи виявлення патологій за сигналом електрокардіограми засобами пояснювального штучного інтелекту»,

(назва)

яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Хмельницького національного університету зі спеціальності 122 – Комп'ютерні науки

(шифр, назва)

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу «Методи виявлення патологій за сигналом електрокардіограми засобами пояснювального штучного інтелекту»,

назва роботи

подану Ковальчуком Олексієм Володимировичем

прізвище, ім'я, по батькові

на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.

Головуючий публічної презентації:

доктор технічних наук,

(науковий ступінь,

професор, декан факультету

інформаційних технологій ХНУ

вчене звання, посада)



Тетяна ГОВОРУЩЕНКО

Ім'я ПРІЗВИЩЕ