

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу  
Титаренка Андрія Миколайовича

на тему «Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого  
догляду»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань **12 Інформаційні технології**  
за спеціальністю **124 Системний аналіз**

### **Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота Титаренка А.М. присвячена дослідженню одного з найбільш актуальних напрямів сучасної робототехніки - створенню інтелектуальних систем автоматизованого догляду. Актуальність теми обумовлена як глобальними демографічними тенденціями, зокрема старінням населення, так і національними викликами, серед яких: зростання кількості осіб з інвалідністю внаслідок воєнних дій і потребою у наданні додаткової допомоги і догляду та перевантаження національної системи охорони здоров'я.

Сучасні технічні підходи до керування роботизованими пристроями часто потребують складного моделювання середовища та високоточного апаратного забезпечення, що обмежує їх гнучкість і масштабованість. Використання методів глибокого навчання з підкріпленням дає змогу подолати ці обмеження, забезпечуючи адаптивність, економічність і ефективність систем у реальних умовах. Особливістю дисертаційного дослідження є інтеграція підходів навчання з підкріпленням, навчання з імітацією та системного аналізу для побудови персоналізованих моделей догляду, що враховують індивідуальні особливості користувачів і забезпечують безпечну взаємодію людини та робота.

Тож дана робота спрямована на вирішення важливої прикладної проблеми - розробку доступних і надійних технологій роботизованого догляду, що мають потенціал для широкого впровадження як в умовах закладів охорони здоров'я, так і в домашньому середовищі.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукові результати, представлені у дисертаційній роботі Титаренка А.М., є ґрунтовно теоретично обґрунтованими та підтвердженими на експериментальному рівні. Достовірність отриманих висновків забезпечується використанням сучасного апарату математичного моделювання, коректним формулюванням оптимізаційних проблем та сучасних методів системного аналізу. Емпіричні результати детально задокументовані та проаналізовані із

застосуванням статистичних і метричних інструментів, що додатково підтверджує їх надійність і достовірність.

У межах дисертаційного дослідження вперше отримано такі наукові результати:

- запропоновано інтегроване застосування навчання з підкріпленням та навчання імітацією в задачах роботизованого догляду, що дозволяє суттєво знизити потребу в даних взаємодії на етапі навчання та забезпечити підвищену стабільність поведінки нейромережових стратегій;

- розроблено новий метод раннього виявлення аномальної поведінки на основі нормалізуючих потоків, який дає змогу своєчасно ідентифікувати відхилення у роботі системи та мінімізувати ризики у фізичній взаємодії між людиною і роботом;

- обґрунтовано та реалізовано підхід до багатокрокового прогнозування у лінеаризованих прихованих просторах станів, що підвищує інтерпретованість керувальних стратегій, зменшує обчислювальні витрати та сприяє побудові більш ефективних моделей;

- створено фізичну систему керування для задачі годування з використанням наскрізних нейромережових стратегій та механізмів згладжування траєкторій, яка забезпечує безпечну та індивідуалізовану взаємодію з пацієнтом без потреби у високовартісному апаратному забезпеченні.

Отже, дисертаційна робота представляє оригінальні наукові результати, які є новими, методологічно обґрунтованими та підтвердженими як теоретичними доведеннями, так і експериментальною валідацією.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі математичних методів системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках

НДР:

- Розробити кількісні та якісні методи прийняття рішень у стохастичних та мінливих середовищах на основі аналізу нелінійних систем та задач оптимізації з особливостями, номер державної реєстрації 0122U000668 (з 01.01.2022 р. по 31.12.2026 р.) / [М.З. Згуровський та ін.];

- Розробити методи та засоби навчання з підкріпленням для прикладних задач дослідження операцій, номер державної реєстрації 0124U000682 (з 01.01.2024 р. по 31.12.2026 р.) / [П.О. Касьянов та ін.];

міжнародно-технічної програми (проєкту):

- Нові засади та алгоритми для процесів послідовного прийняття рішень в умовах ризику для застосування в секторі безпеки (New foundations and algorithms for risk-aware sequential decision processes with defense applications), номер державної реєстрації 238/1573 (з 01.09.2024 по 31.08.2027 р.);

за договором із закордонним замовником

– Розробити інтегрований підхід до високопродуктивного моделювання протеїнових комплексів, структурно-функціональних взаємозв'язків протеїнів, та прогнозування фенотипних ефектів варіації однієї амінокислоти на основі кінетичних аспектів поєднання протеїнів у клітинному середовищі, номер державної реєстрації 0124U001308 (з 01.12.2023 р. по 31.12.2024 р.) / [П. О. Касьянов та ін.].

під керівництвом директора ННК ІПСА КПІ імені Ігоря Сікорського, доктора ф.-м.н., професора, члена-кореспондента НАНУ Касьянова Павла Олеговича.

У дисертаційній роботі поставлені наступні наукові завдання:

- розробити нейромережеві методи керування для роботизованих систем, що працюють у непередбачуваних середовищах і взаємодіють з людиною;
- обґрунтувати використання навчання імітацією у поєднанні з навчанням з підкріпленням для отримання робастних і ефективних стратегій керування;
- дослідити безпеку взаємодії роботизованих систем із пацієнтами, враховуючи фізичний контакт та можливі непередбачувані зміни середовища;
- розробити підхід раннього виявлення аномальної поведінки стратегії або пацієнта для забезпечення робастного механізму безпеки в задачах догляду;
- дослідити способи інтерпретації нейромережевих стратегій за допомогою моделювання динаміки середовища;
- розробити підхід до навчання нейронних мереж для зменшення розмірності представлення (стану) середовища і спрощення динаміки отриманого простору станів;
- розробити систему керування фізичною роботизованою системою для догляду з використанням розробленої методології для підтвердження;
- проаналізувати отримані результати, визначивши переваги, обмеження та потенційні напрямки вдосконалення розроблених підходів.

Поставлені у дисертаційному дослідженні завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Титаренка А.М. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності **124 Системний аналіз** та напрямам досліджень відповідно до освітньої програми Системний аналіз.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інформаційних технологій.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Титаренка Андрія Миколайовича 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.

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

Дисертаційна робота Титаренка Андрія Миколайовича написана українською мовою та повністю відповідає встановленим вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії. Представлення матеріалу дослідження у дисертаційній роботі викладено послідовно й аргументовано, з дотриманням логічної структури та академічної доброчесності. Робота відзначається належним рівнем наукової мови, чіткістю формулювань та стилістичною узгодженістю. У тексті використано загальноприйнятту фахову термінологію в галузях системного аналізу, штучного інтелекту, машинного навчання та робототехніки, що свідчить про належний рівень професійної підготовки здобувача та відповідність змісту дисертації сучасним науковим стандартам.

Дисертація складається з вступу, 7 розділів, висновків, списку літератури та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації 159 сторінок.

У вступі дисертації окреслено актуальність обраного напрямку дослідження, чітко сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Наведено характеристику наукової новизни, визначено практичну цінність одержаних результатів та подано загальний опис методологічного підходу, покладеного в основу роботи.

Перший розділ містить аналітичний огляд сучасного стану проблеми автоматизації процесів догляду, з акцентом на демографічні та соціальні чинники, що актуалізують цю тему в умовах України. Проведено порівняльний аналіз існуючих підходів, зокрема нейромережевих стратегій, з огляду на їх переваги та обмеження.

У другому розділі розглянуто підходи до підвищення стійкості стратегій керування в умовах невизначеності. Запропоновано застосування дифузійних стратегій у поєднанні з методами навчання з підкріпленням.

Третій розділ присвячено побудові візуальних стратегій керування за відсутності привілейованих даних. Автором розроблено відповідну архітектуру нейронної мережі та проведено її валідацію в симуляційному середовищі.

У четвертому розділі подано метод раннього виявлення аномалій у поведінці нейромережевих стратегій, що спрямований на підвищення рівня безпеки систем догляду у випадках фізичного контакту з людиною.

П'ятий і шостий розділи спрямовано на побудову компактних латентних моделей середовища та ефективне представлення дій. Запропоновані рішення сприяють підвищенню стабільності та інтерпретованості стратегій, а також зменшенню обчислювальних витрат.

У сьомому розділі викладено реалізацію повнофункціональної системи керування фізичним пристроєм для годування. Представлено результати впровадження адаптивних і безпечних механізмів взаємодії, що базуються на методах штучного інтелекту та не потребують дорогого технічного оснащення.

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

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

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus; 1 патент на винахід, що пройшов кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосується наукових результатів дисертації; 1 одноосібний розділ в колективній монографії.

Також результати дисертації були апробовані на 1 науковій фаховій конференції.

Наукові публікації, що подані здобувачем за темою дисертації, містять належне теоретичне обґрунтування викладених положень та відповідають чинним вимогам академічної доброчесності. Зміст робіт свідчить про системний підхід автора до дослідження поставленої наукової проблеми.

Єдиною працею у співавторстві є патент на винахід, у якому здобувач вказаний як один з основних авторів. Особистий внесок здобувача полягає в розробленні алгоритмічного підходу до імовірнісного парування сенсорних сигналів для визначення параметрів руху людини за візуальними даними. Цей внесок охоплює як формулювання дослідницької задачі, так і створення відповідного алгоритму, його реалізацію, перевірку працездатності та аналіз результатів. Всі інші публікації виконано одноосібно, що засвідчує самостійність здобувача в реалізації наукового задуму.

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

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

В цілому дисертаційне дослідження виконано на високому науковому рівні, але в роботі можна відзначити окремі недоліки та аспекти, що потребують уточнення або подальшого розвитку:



1. У роботі практично не розглядаються аспекти етичної відповідальності при застосуванні роботизованих систем догляду в контексті взаємодії з вразливими категоріями осіб.

2. Автор зосереджується на задачі роботизованого годування як найбільш складній задачі керування, не аналізуючи можливість використання розроблених методів і стратегій до систем реабілітації, які також є підзадачами систем роботизованого догляду. Варто було б чітко виділити і окреслити це в назві дисертаційної роботи.

2. В розділах 3 і 4 доцільно було б детально описати архітектуру нейронної мережі, яка використовується для задачі керування у роботизованому догляді та виявлення небезпечної поведінки, показавши як оптимізувалась її архітектура в процесі навчання.

3. Розділи 2 і 3 було б доцільно об'єднати, оскільки вони є достатньо близькими за напрямом і представляють логічно єдину послідовність досліджень.

4. Запропоновані метод і стратегії на основі зору та стану дозволили підвищити успішність виконання процедур догляду: годування та маніпуляції кінцівкою, проте успішність на задачах пиття, миття, тамування свербіння потребує подальшого покращення, що може бути досягнуто за рахунок більшої кількості траєкторії дій, які потрібно реалізовувати під час навчання системи догляду.

5. У структурі деяких розділів недостатньо чітко сформовані загальні висновки, що ускладнює сприйняття ключових результатів кожного етапу дослідження. Було б доцільно пояснити у висновках, що було виконано і окреслити наступні задачі, які послідовно вирішуються в наступних розділах, щоб лише підсилило зв'язність і логіку самої роботи.

Втім описані зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Титаренка Андрія Миколайовича на тему «Глибоке навчання з підкріпленням для задач роботизованого догляду» виконана на високому науковому рівні з дотриманням принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує поставлене наукове завдання, що має істотне значення для сучасних інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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 Титаренко Андрій Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 124 Системний аналіз.

**Рецензент:**

Професор каф. математичних  
методів системного аналізу  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
д.т.н., доцент  
М.П. «        » \_\_\_\_\_



Підпис гр. \_\_\_\_\_  
ЗАСВІДЧУЮ  
Відділ кадрів  
підпис пр-ще  
Наталя КУЗНЕЦОВА