

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Песчанського Владислава Юрійовича
на тему «Алгоритмічне та програмне забезпечення технології цифрових
двійників медико-біологічних об'єктів»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань «Інформаційні технології»
за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Актуальність теми дисертації

Сучасний етап розвитку біоінженерії й клінічної інформатики характеризується переходом від інтеграційних медичних інформаційних систем до концептуально нових кіберфізичних платформ, у межах яких цифрові двійники відіграють роль головного носія знань про пацієнта. Поява високопродуктивних обчислювальних засобів, розподілених сховищ і моделей штучного інтелекту трансформує медицину з переважно реактивної у прогнозно-превентивну. Разом із тим обґрунтованість клінічних рішень безпосередньо залежить від здатності цифрового двійника об'єктивно та оперативно відображати морфофункціональні параметри конкретного органа або системи, що потребує цілісної обробки мультимодальних даних.

На цьому тлі дисертаційна робота В.Ю.Песчанського вирізняється системним характером, оскільки усуває одразу кілька критичних бар'єрів. Автор не лише пропонує універсальну мікросервісну архітектуру, здатну масштабуватися у хмарних середовищах, а й обґрунтовує алгоритм семантичного узгодження мультимодальних часових рядів на основі графових нейронних мереж, що істотно підвищує когерентність та інтероперабельність даних. З огляду на те, що стратегія цифрової трансформації охорони здоров'я України до 2025 р. передбачає впровадження систем підтримки клінічних рішень, здатних інтегруватися з e-Health, результати дисертації мають істотне прикладне значення. Запропонований науковий інструментарій дозволяє перейти від фрагментарного аналізу медичних показників до створення стандартизованих, захищених і пояснюваних цифрових репрезентацій пацієнта, що не лише знижує клінічні ризики, а й сприяє розвитку віддалених реабілітаційних сервісів і освітніх симуляторів нового покоління. Зважаючи на наведені аргументи, тема дисертаційного дослідження є своєчасною, науково вагомою та стратегічно важливою для подальшого розвитку медичних інформаційних технологій.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. **Уперше** розроблено узагальнену архітектуру програмної системи для створення і використання цифрових двійників медико-біологічних об'єктів, характерними рисами якої є поєднання мультимодальних темпоральних даних у форматі, який підтримує двосторонню інтеграцію з фізичним об'єктом через давачі, актуатори та інші програмно-апаратні засоби, що надає можливість перейти від фрагментарного оброблення окремих типів даних до цілісної моделі, яка може оновлюватися в реальному часі.

2. **Уперше** розроблено метод синхронізації темпоральних мультимодальних даних, характерною рисою якого є поєднання відео та аудіо у єдиний потік даних, що забезпечує узгодження даних різної модальності та, у такий спосіб, спрощує процес створення цифрового двійника медико-біологічного об'єкта на основі даних, які надходять з давачів різних типів.

3. **Уперше** розроблено метод семантичного аналізу для виявлення кореляцій між наборами даних та прогнозування поведінки програмно-апаратних компонентів цифрового двійника, характерними рисами якого є застосування графових баз даних та алгоритмів машинного навчання, що дає змогу об'єднувати дані з різних джерел (пацієнти, пристрої, записи) в єдину онтологічну модель, що забезпечує автоматизоване виявлення залежностей у даних про медико-біологічний об'єкт, а також надає інструменти для прогнозування стану програмно-апаратного забезпечення цифрового двійника.

4. **Удосконалено** теоретичні засади оброблення просторово-часових параметрів медико-біологічного об'єкта для побудови його цифрового двійника, що полягає у застосуванні тривимірних згорткових нейронних мереж (3D-CNN) та рекурентних архітектур для оброблення відео- та аудіоданих та, на відміну від відомих підходів, дає змогу забезпечити комплексний аналіз динамічних змін структури та функціонування медико-біологічного об'єкта з врахуванням його індивідуальних анатомічних особливостей та динаміки.

5. **Уперше** розроблено архітектурні шаблони проектування для розроблення програмних систем на основі цифрових двійників медико-біологічних об'єктів, які, на відміну від відомих, орієнтовані на оперування складними наборами мультимодальних темпоральних даних, інтегрованих у єдину семантичну модель, що дає змогу спростити процес розроблення, обслуговування та масштабування медичних програмних систем.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове 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 Песчанського В.Ю. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення».

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

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Песчанського Владислава Юрійовича 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 написана українською / англійською мовою.

Дисертаційна робота має чітко продуману та логічну структуру: розділи й підрозділи взаємопов'язані, а наприкінці кожного наведено стислий підсумковий виклад, що забезпечує зручну навігацію та послідовне сприйняття матеріалу. Мова викладу зберігає науково-термінологічну коректність і водночас залишається достатньо зрозумілою для фахівців-практиків; застосовані поняття узгоджені з усталеною лексикою програмної, біомедичної та семантичної інженерії. Автор послідовно дотримується вимог академічного письма: речення відзначаються чіткою синтаксичною організацією, нові терміни вводяться з негайними дефініціями, у переліку умовних позначень розшифровано всі аббревіатури. Ілюстративний матеріал – шістнадцять рисунків і дві таблиці – ефективно підтримує текстову частину, не перевантажуючи її та зберігаючи належний рівень інформативності.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 167 сторінок.

У **вступі** автор обґрунтовує наукову й прикладну значущість дослідження, чітко формулює мету та комплекс завдань, визначає об'єкт і предмет, а також стисло окреслює оригінальний внесок і практичну корисність отриманих результатів.

У **першому розділі** здійснено критичний огляд існуючих математичних, алгоритмічних і програмних підходів до оброблення даних медико-біологічних об'єктів, детально проаналізовано проблеми стандартизації форматів, семантичної інтероперабельності та інтеграції цифрових двійників у клінічні інформаційні системи.

Другий розділ присвячено розробленню методології синхронізації та семантичної інтерпретації мультимодальних темпоральних даних; у роботі поєднано графові нейронні мережі з онтологічним моделюванням для виявлення прихованих закономірностей у медичних сигналах.

Третій розділ містить метод персоналізованої адаптації базової тривимірної моделі медико-біологічного об'єкта з використанням 3D-топології та згорткових нейронних мереж, що забезпечує індивідуальне підлаштування цифрового двійника під анатомічні та функціональні особливості конкретного пацієнта.

Четвертий розділ подає узагальнену мікросервісну архітектуру програмної платформи цифрових двійників і розглядає питання безперервної інтеграції й доставлення, інформаційної безпеки та стандартної взаємодії з медичними системами, що створює практичні передумови для промислового впровадження запропонованого рішення.

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 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України;

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача за тематикою дисертаційного дослідження мають високий науковий рівень. У всіх публікаціях дотримано принципів академічної доброчесності.

Характеристика особистого внеску здобувача в наукових працях, опублікованих зі співавторами та зарахованих за темою дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Проєктування архітектури програмної системи для створення цифрових двійників медико-біологічних об'єктів. «Системні технології». 2023. № 5 (148). С. 62-70. DOI: 10.34185/1562-9945-5-148-2023-06 Здобувачем запропоновано основні критерії для проєктування архітектури програмної системи для створення цифрових двійників медико-біологічних
2. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Методи створення цифрових двійників медико-біологічних об'єктів на прикладі отоларингології. «Системні технології». 2023. № 6 (149). С. 3-10. DOI: 10.34185/1562-9945-6-149-2023-01

Здобувачем порівняно методи для збору та оброблення даних медико-біологічних об'єктів для їх подальшого використання при побудові цифрового двійника

3. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Метод синхронізації темпоральних мультимодальних даних для створення цифрового двійника гортані. «Системні технології». 2024. № 5 (154). С. 137-145. DOI: 10.34185/1562-9945-5-154-2024-14

Здобувачем запропоновано метод синхронізації темпоральних мультимодальних даних на основі нормалізації відео та аудіо потоків з подальшим кореляційним аналізом

4. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Архітектурні принципи забезпечення верифікації та якості системи створення цифрових двійників медико-біологічних об'єктів. «Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки». 2024. Том 345 № 6(2). С. 158-164. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-345-6-24

Здобувачем запропоновано узагальнену архітектуру програмної системи для створення і використання цифрових двійників медико-біологічних об'єктів, характерними рисами якої є поєднання мультимодальних темпоральних даних у форматі, який підтримує двосторонню інтеграцію з фізичним об'єктом через давачі, актуатори та інші програмно-апаратні засоби

Матеріали наукових конференцій

5. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Відтворення тривимірної моделі об'єкту на основі набору зображень. Тринадцята наукова конференція магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг (ПМК'2020)». Київ. 18 - 20 листопада 2020 р. Збірник тез доповідей Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського». Київ: Просвіта. – 2020. – С. 233-236. ISBN 9786177010-14-1

Здобувачем запропоновано метод відтворення тривимірної моделі об'єкту на основі набору зображень за рахунок виявлення та співставлення наборів ключових точок на наборі зображень з подальшою тріангуляцією для визначення просторових координат

6. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Алгоритм зчитування та аналізу даних медико-біологічних об'єктів у форматі PDF на основі оптичного розпізнавання символів. П'ятнадцята наукова конференція магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг (ПМК'2022)», Київ, 16 - 18 листопада 2022 р. Збірник тез доповідей Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського», Київ: Просвіта. – 2022. – С. 416-420. ISBN 978-617-7010-14-1

Здобувачем запропоновано алгоритм зчитування та аналізу даних медичних і біологічних об'єктів із PDF-файлів, заснований на оптичному

розпізнаванні символів, який поєднує використання нейронної мережі для спрощення розпізнавання символів із подальшим синтаксичним аналізом отриманих даних та побудовою абстрактного синтаксичного дерева

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Хоч дисертаційна робота демонструє солідний науковий доробок, вона містить ряд моментів, які доцільно доопрацювати.

Насамперед доцільно деталізувати походження й репрезентативність наборів даних: у тексті не подано жодної інформації про географічну, демографічну та нозологічну структуру вибірки, що ускладнює оцінку узагальнюваності результатів. Порівняння з альтернативними підходами обмежене лише одним базовим алгоритмом; відсутність багаторівневого бенчмаркування з сучасними трансформерними та дифузійними моделями ставить під сумнів заявлену перевагу запропонованого рішення.

У математичному розділі автор не наводить формального доведення збіжності алгоритму оптимізації, а також не аналізує чутливість моделі до варіації гіперпараметрів, що залишає відкритими питання стабільності та відтворюваності.

Опис мікросервісної архітектури подано без конкретних схем взаємодії з медичними інформаційними системами LIS/PACS/RIS; таким чином неясно, яким чином забезпечується повноцінна семантична інтероперабельність на рівні HL7 FHIR-ресурсів.

У розділі, присвяченому безпеці, перелічено лише загальні підходи до шифрування й анонімізації, проте не наведено результатів пентестів або SAST/DAST-аудиту, що важливо для програмних систем, які оперують персональними медичними даними.

Економічна частина зведена до загальної декларації про «зниження витрат», однак не містить розрахунків показників ROI чи TCO, що ускладнює оцінку доцільності комерційного впровадження.

Автор також не обговорює питання пояснюваності отриманих моделей, що є критично важливим для довіри лікарів до систем із компонентами штучного інтелекту. Нарешті, у висновках бракує конкретних планів щодо сертифікації програмного забезпечення за стандартами MDR/IEC 62304 та дорожньої карти клінічних випробувань.

Зазначені зауваження носять уточнювальний характер і не нівелюють наукову новизну роботи, проте їх усунення підвищить достовірність, відтворюваність та прикладну цінність отриманих результатів.

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.

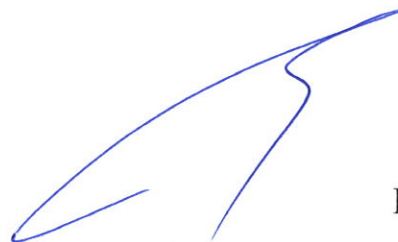
Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Песчанського Владислава Юрійовича на тему «Алгоритмічне та програмне забезпечення технології цифрових двійників медико-біологічних об'єктів» 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, що має істотне значення для 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 Песчанський Владислав Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

професор кафедри
інформаційних систем та мереж
Національного університету
“Львівська політехніка”
доктор технічних
наук, професор



Василь ЛИТВИН

М.П. «01» травня 2025 року

Підпис Василя ЛИТВИНА засвідчую

Вчений секретар
Національного університету
„Львівська політехніка”



Роман БРИЛИНСЬКИЙ