

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Письменного Ігоря
Олександровича** «Електронна система охорони здоров'я: постійний
моніторинг стану пацієнта»

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності
01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і
систем

Дисертаційна робота Письменного І.О. присвячена вирішенню актуального завдання побудови архітектури системи збору та обміну даними пацієнта, інтеграції в неї прикінцевих мереж постійного моніторингу його стану.

Актуальність роботи

Насьогодні в світі і в Україні в тому числі гостро стоїть питання нестачі медичного персоналу та ресурсів, що ще більше посилюється в умовах пандемії. Використання сучасних технологій збору, аналізу та передачі даних, побудова процесів телемедицини здатні значною мірою підняти ефективність, доступність та якість системи охорони здоров'я. Поєднання різних аспектів цифровізації галузі в межах однієї платформи дозволяє отримати синергійний ефект за рахунок збільшення обсягу інформації доступної для кожного з компонентів та можливістю композиції їх функціональностей, при цьому створюючи велику кількість викликів, зокрема убезпечення конфіденційної інформації користувача, забезпечення механізмів пошуку та композиції необхідних інтерфейсів, необхідність підтримки високих навантажень при інтеграції систем телемедицини призначених для моніторингу стану пацієнта. Тому розробка методів побудови архітектури Електронної Системи Охорони Здоров'я (ЕСОЗ), котра дозволить інтеграцію вже існуючих компонентів, підтримуватиме семантичний пошук сервісів та слугуватиме платформою для систем телемедицини є актуальним науковим завданням, що потребує вирішення.

Актуальність роботи підтверджується Законом України «Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення» (від 19.10.2017

№ 2168-VIII, редакція від 01.01.2021), де вказується необхідність побудови єдиної ЕСОЗ, а також тим, що основні результати було отримано в рамках НДР: №2020-п «Проектування сучасних систем сервісів на прикладі мобільної медичної системи для мешканців прифронтових районів в зоні АТО» (№ держреєстрації 0117U002435, терміни виконання 2017-2020 рр.) та № 2293-п «Створення і підтримка програмно-сервісних засобів розробки прикладного програмного забезпечення».

Структура та зміст роботи

Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (112 найменувань) та п'яти додатків. Загальний обсяг дисертації складає 162 сторінки, в тому числі 119 сторінок основного тексту.

У **вступі** представлено загальну характеристику дисертації, включаючи актуальність теми, зв'язок роботи із науковими програмами, планами та темами, мету, завдання та методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробацію та дані про публікації результатів.

Огляд основних понять та аналіз відомих підходів до цифровізації медичної галузі проведено в **розділі 1**, де також визначені напрямки та основні задачі дослідження. Зокрема **підрозділ 1.1** присвячено інтегрованим системам управління клінічною інформацією; **підрозділ 1.2** – різним аспектам телемедицини, включаючи віддалену медицину, віртуальні медичні бригади, та мобільні системи m-Health; **підрозділ 1.3** - системам керування медичними знаннями; **підрозділ 1.4** – використанню технологій штучного інтелекту в інформатизації медичної галузі; **підрозділ 1.5** – побудові єдиної інтегрованої платформи, котра включатиме в себе наведені вище компоненти.

Вкінці розділу наведено відповідні **висновки до розділу 1**.

В **розділі 2** розглянуто методи побудови архітектури інтегрованої хмарної медичної платформи, проаналізовано вимоги до даного програмного забезпечення.

В **підрозділі 2.1** продемонстровано необхідність використання методів предметно-орієнтованого проектування для формалізації процесів медичної галузі в термінах їх цифровізації; показано переваги сервіс-орієнтованого підходу, зокрема мікросервісних архітектур, при проектуванні платформ інтеграції гетерогенних компонентів.

В **підрозділі 2.2** здійснено аналіз методів пошуку сервісів в розподілених мікросервісних системах (інфраструктурних та з допомогою виділеного компоненту), проведено порівняння існуючих реалізацій центрального реєстру сервісів та запропоновано використання Apache Consul як найвідповіднішої поставленим задачам альтернативи.

Підрозділ 2.3 присвячено розробці механізму семантичного пошуку сервісів. Запропоновано метод відкриття сервісів побудований на обчисленні онтологічних подібностей моделей їх API моделям API клієнту, що є доповненням до традиційного механізму, побудованого на використанні незалежного реєстру сервісів і уможливорює перевикористання існуючого функціоналу шляхом відкриття вже існуючих компонентів найбільш відповідних якісним та функціональним вимогам. Критерієм вибору інтеграції пропонується інтегральна оцінка, що виходить відповідності моделі API (функціональної характеристики) з та якісних показників(QoS) сервісу. Проведено практичне підтвердження даного підходу шляхом обчислення подібності API побудованих на відкритій онтології Core Ontology of Clinical Trials.

В **підрозділі 2.4** сформовано рекомендації до проектування архітектури міжсервісної комунікації в рамках ECO3. Пропонується використовувати шаблон проектування CQRS в поєднанні з патерном представлення стану об'єкта у вигляді множини подій. Дані користувача та результати їх обробки передаються в систему в вигляді потоків подій, сервіси можуть читати їх та вибудовувати відображення станів об'єктів виходячи з власних потреб, при цьому для зовнішніх API можуть використовуватися адаптери, що відтворюватимуть зручні для клієнта RESTful API.

Вкінці розділу наведено відповідні **висновки до розділу 2.**

Розділ 3 присвячено забезпеченню безпеки медичних даних.

В **підрозділі 3.1** проведено аудит вразливості компонентів системи. Відповідно до виявлених вразливостей запропоновано розділення ЕСОЗ на шари, що дозволить оптимізувати граф комунікацій компонентів та ізолювати їх всередині захищених контекстів; запропоновано підходи для убезпечення даних користувача в контексті кожного з розглянутих шарів.

Підрозділ 3.2 присвячено забезпеченню цілісності даних та приватності пацієнта за рахунок гібридної системи з блокчейн індексу транзакцій з посиланнями на ресурс збережений в зовнішній системі. Розглянуто різні види алгоритмів консенсусу розподілених мереж та запропоновано поєднання proof-of-conformance та proof-of-stake (authority) для підтвердження транзакції в мережі з верифікацією явної згоди кінцевого користувача на їх обробку.

Вкінці розділу наведено відповідні **висновки до розділу 3**.

В **розділі 4** розглянуто інтеграцію мереж інтернету речей в ЕСОЗ, здійснено їх класифікацію та запропоновано методи ефективної організації прикінцевих обчислень.

В **підрозділі 4.1** проаналізовано основні сценарії застосування прикінцевих обчислень в медицині, їх роль в сучасній системі охорони здоров'я.

Підрозділ 4.2 присвячено викликам пов'язаним з впровадженням систем інтернету речей в медичну галузь, акцентовано проблеми безпеки та приватності даних пацієнта, обробки великого об'єму зібраних вимірювань, а також стабільності мобільних прикінцевих мереж.

Підрозділ 4.3 присвячено порівнянню існуючих технологій комунікації систем інтернету речей.

В **підрозділі 4.4** було запропоновано модель універсального методу розподілу обчислювальних задач в крайових мережах, котра здатна використовуватися для зняття навантаження на хмару, мінімізації інтернет трафіку (за рахунок трафіку всередині сенсорної мережі) та автономізації мереж інтернету речей; оцінено її ефективність з допомогою побудови імітаційної моделі системи в середовищі AnyLogic.

Вкінці розділу наведено відповідні **висновки до розділу 4.**

Розділ 5 присвячено розробці мобільної системи моніторингу пацієнта, побудованої на аналізі даних зібраних з мережі натільних датчиків і складається з туманної (мережа датчиків та смартфон користувача) і хмарної компонент.

В підрозділі **5.1** розглянуто загальну архітектуру систем постійного моніторингу стану пацієнта.

В підрозділі **5.2** спроектовано мобільну система розпізнавання дихання пацієнта та падіння пацієнта. Проведено аналіз методів розпізнавання частоти дихання та реалізовано програмно-апаратний комплекс, що складається з сенсорної мережі, що відслідковує рух та зміну геометрії грудної клітки, мобільного додатку та хмарної системи. Таким чином було досліджено побудову лямбда-архітектури з врахуванням прикінцевих обчислень, запропоновану в розділі 4. На прикладі визначення падіння пацієнта з допомогою знятого сигналу акселерометра було показано можливість використання легковісних нейромереж для швидкого виявлення аномалій до передачі даних в хмару з використанням обмежених обчислювальних ресурсів прикінцевої мережі, що її забезпечує автономність та надійність.

Вкінці розділу наведено відповідні **висновки до розділу 5.**

У **висновках** сформульовані основні результати дисертації.

Додатки містять документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи, список опублікованих праць за темою дисертації, вихідні коди програмного забезпечення, що розроблялось в рамках виконання дисертації, деталізацію розрахунків подібності моделей API наведених в розділі 2, а також вихідні дані з вимірюваннями активностей користувачів, котрі аналізувалися в розділі 5.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки дисертаційної роботи в цілому достатньо обґрунтовані. Для обґрунтування наукових положень автором застосовано

методи системного аналізу, зокрема предметно-орієнтованого проектування для визначення компонентів системи та їх контекстів, методику безпекового аудиту для забезпечення конфіденційності та захищеності даних користувачів; консенсусу розподілених систем для захисту ЕМК від неавторизованих втручань; для розпізнавання активностей пацієнта – методи штучних нейронних мереж; методи теорії графів для проектування міжкомпонентної комунікації на прикінцевому рівні, а також методи імітаційного моделювання для оцінки її ефективності. Обґрунтованість висновків та рекомендацій підкріплена науковими публікаціями.

Достовірність результатів досліджень

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечена коректністю постановки задач з урахуванням відповідних обмежень, апробацією основних результатів на представницьких наукових конференціях, науково-практичних виставках та конкурсах, успішними результатами обчислювальних експериментів та досвідом практичного впровадження результатів дослідження. Отримані результати вважаю обґрунтованими, достовірними та новими.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. *Вперше сформовано набір методів* проектування архітектури Електронної Системи Охорони Здоров'я згідно принципів СОА, на основі яких забезпечується можливість інтеграції сторонніх компонентів в систему як окремих сервісів, доступних в загальному репозиторії сервісів та вказано на можливий подальший розвиток в вигляді надання можливостей семантичного вибору сервісів.

2. *Запропоновано* метод безпечного обміну конфіденційною медичною інформацією користувача, який відрізняється від існуючих верифікацією записів ЕМК на відсутність неавторизованих втручань з допомогою блокчейн технологій.

3. *Вперше запропоновано* динамічний метод розподілу обчислень між хмарною та туманною мережами з врахуванням особливостей та потужностей

різних типів вузлів, що особливо важливо для гетерогенних систем інтернету речей. Дана модель дозволяє збільшити автономність прикінцевої мережі, зменшити вихідний трафік та навантаження на хмару з урахуванням обмеженості в обчислювальних та енергетичних ресурсах систем інтернету речей.

4. *Вперше запропонована* модель крайових мереж на основі графів, що дозволяє підвищити пропускну здатність веб-шлюзів, зменшуючи обсяг даних, які передаються через них. Таким чином показано, що крайові обчислення допомагають повніше використовувати доступні ресурси, що приводить до підвищення економічної ефективності.

Теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Теоретичне значення роботи, насамперед, полягає в удосконаленні методів обробки даних прикінцевих мереж з допомогою побудованої на графах моделі обчислень туманних мереж; розробці методу семантичного пошуку сервісів на основі онтологічної подібності моделей API, а також рекомендаціях щодо проектування сервіс-орієнтованої архітектури електронної системи охорони здоров'я з врахуванням безпекових вимог до її компонентів.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані модель, методи та інформаційна технологія лягли в основу створення BSN системи для постійного моніторингу дихання пацієнта, здатної виявляти зупинку дихання та падіння, а також розроблено метод безпечного обміну конфіденційною медичною інформацією користувача з верифікацією записів на відсутність неавторизованих втручань з допомогою блокчейн технологій.

Результати дисертаційної роботи, а саме рекомендації по методиці проектування платформи, побудові інтеграції сервісів, а також динамічний алгоритм розподілу обчислень між хмарною та туманною мережами, впроваджені та використовуються в діяльності ТОВ «ИТ-ТРАНЗИТ» (Вих. №05-1/2021 від 19го лютого 2021).

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах

Основні положення і результати дисертаційного дослідження опубліковані в п'яти наукових працях, з яких дві в виданнях, що індексуються наукометричною базою SCOPUS, одну статтю опубліковано в науковому періодичному виданні Польщі. Результати також доповідалися на 4 наукових заходах, виставках та конференціях різних рівнів.

В опублікованих працях у фахових наукових виданнях повністю викладено основні наукові положення дисертаційної роботи та отримані результати, а рівень та кількість публікацій відповідають вимогам до кандидатських дисертацій в Україні.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації, повно відображає актуальність, мету та задачі, основні наукові положення, практичну значущість, апробацію дисертації, її зміст по розділах, та висновки. Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності з вимогами МОН України, що ставляться до кандидатських дисертацій. Зокрема **оформлення** дисертації відповідає «Вимогам до оформлення дисертації», затверджених Наказом МОН України № 40 від 12 січня 2017 р.

При загальній позитивній характеристиці роботи є ряд **зауважень**:

1. Тема роботи сформульована дуже широко, повна її реалізація виходить за межі дисертаційного дослідження.
2. Дещо невдалим є формулювання у висновках роботи «розв'язано актуальну науково-практичну задачу», оскільки згідно законодавства кандидатська робота має вирішувати конкретне наукове завдання, що має істотне значення для певної галузі науки.
3. Термінологія в роботі є не повністю консистентною. Так вживається багато синонімів термінів (наприклад *прикінцеві* та *крайові* обчислення). Термін «оптимізувати» часто вживається без зазначення критеріїв власне оптимізації («оптимізувати даний процес», «оптимізації обсягу переданих даних», «оптимізувати використання ресурсів інфраструктури», тощо).

4. В розділі 4 було проведено моделювання використання ресурсів крайових мереж для аналізу даних зібраних з сенсорів та вказано на його переваги вигляді «скорочення об'єму даних», тощо, при цьому не наведено числових показників отриманого позитивного ефекту. Цікавим був би якісний аналіз роботи моделі для більшої кількості конфігурацій мережі, більш наочне зображення сценаріїв симуляції.

5. В роботі вживаються одночасно аббревіатури та розшифровки термінів (наприклад, *PoC* та *proof-of-conformance*, *PoS* та *proof-of-stake*, ст. 80, 82), при цьому деякі терміни, що вживаються лише один раз теж мають аббревіації (*m-IoT*, ст. 24).

6. В роботі використано багато англіцизмів, котрі мають відповідні терміни в українській мові (*репортинг* на ст. 60, 64, *роутинг* на ст. 20 та ін.). При цьому деякі англійські терміни вживаються без перекладу (наприклад, *Data Lake* на ст. 92, 93). Вважаю доцільним введення їх українськомовних відповідників.

7. Присутній ряд технічних помилок: «дозволяює» (с. 5), «гетерогенних система» (с. 102), «ата.ки» (с. 69), «атовризовані в мережі» (с. 71), «методів глибокого навчання» (с. 86), «Рис. 4.8. *happy flow* ГМОТМ» (с. 99), «рис. 5.5 Рис. 5.5. Архітектура автоенкодера» (с. 114) та інші.

Наведені зауваження не зменшують наукову новизну, теоретичне й практичне значення результатів дослідження та загальне враження від нього.

Висновок

У представленій дисертації Письменним І.О. виконано значну теоретичну і практичну роботу щодо побудови архітектури інтегрованої платформи, котра забезпечує збір та обробку даних пацієнта, обмін ними на прикінцевому та міжорганізаційному рівнях, ефективних алгоритмів розподілення їх обробки. Вірогідність результатів дослідження, їх наукова новизна, теоретичне та практичне значення переконливо аргументовані і не викликають заперечень. Публікації та автореферат дисертанта відображають основний зміст положень дисертації.

Вважаю, що дисертаційна робота Письменного І.О. на тему «Електронна система охорони здоров'я: постійний моніторинг стану пацієнта», є завершеним самостійним дослідженням, отримані результати мають суттєве значення для технічної науки і практики, відповідає вимогам пп. 9, 11, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 656 від 19.08.2015), а її автор – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем.

Офіційний опонент:

провідний науковий співробітник
відділу цивільного захисту та інноваційної діяльності
Державної установи «Інститут геохімії
навколишнього середовища НАН України»
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник



А.В. Яцишин

Підпис Яцишина А.В. засвідчую:
Учений секретар
ДУ «ІГНС НАН України», к.т.н.



Ю.В. Литвиненко