

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ29.051.009
Східноукраїнського національного
університету ім. В. Даля
доктору технічних наук, професору
Рязанцеву Олександрові Івановичу
93400, м. Сєвєродонецьк,
вул. Донецька, 43

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

про дисертаційну роботу Критської Яни Олександрівни
«Інформаційна технологія розробки та впровадження системи моніторингу
поверхневих вод на основі Інтернету речей»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
122 “Комп’ютерні науки”

1 Актуальність теми та зв’язок з науковими планами і програмами

1.1 Первинним ресурсом життєзабезпечення в світі є вода і поверхневі води займають суттєву їх складову. Особливу увагу в умовах сучасного розвитку техногенного навантаження та істотних кліматичних змін, які констатуються в навколишньому середовищі за останнє десятиліття, привертають потреби змін в системі управління водними ресурсами, впровадженні і забезпеченні інформаційними технологіями цієї галузі, з вдосконаленням моделей і засобів реалізації моніторингу поверхневих вод.

Представлені автором підходи до організації контролю якості водних ресурсів забезпечують процеси прийняття рішень до створення тривимірної мережі моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей (IoT), враховуючи позицію глибинного розташування приладів спостереження.

Акцентування уваги дослідження на обґрунтування вибору компонентного складу датчиків, які пропонується використовувати в IoT приладах та станціях моніторингу води, відкриває індивідуальний підхід до розбудови і впровадження нової системи моніторингу на заданій ділянці

водойми, що доволі своєчасно для забезпечення умов сталого використання водних ресурсів.

У зв'язку з цим проведене вдосконалення моделей і методів вирішують наукове завдання з підвищення ефективності, обґрунтованості і об'єктивності процесу прийняття рішень в розробці та впровадженню системи моніторингу водних об'єктів, які розбудовуються на основі Інтернету речей.

Розглянута тематика досліджень автора щодо інформаційної технології розробки та впровадження системи моніторингу на основі Інтернету речей, є важливою і актуальною.

1.2 Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з розробкою і впровадженням моделей, методів та інформаційних технологій створення апаратних засобів та програмної реалізації аналітичних та імітаційних моделей, які були використанні при виконанні науково-дослідних проектів “Дослідження стратегій та механізмів прийняття рішень для інтегрованого управління водними ресурсами” 12.2016-07.2020, (№ ДР 0116U005784), “Проектування системи моніторингу та контролю водних об'єктів на основі технології інтернет речей” 01.2020-12.2023, (№ ДР 0120U100421), м. Сєверодонецьк; при виконанні міжнародного проекту Європейського Союзу ERASMUS+ ALIOT 573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP “Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications”.

Результати тестового впровадження на підприємствах підтверджують впроваджені автором рішення щодо організації системи моніторингу, передачі, зберігання та обробки даних за допомогою IoT, дозволяють краще зрозуміти джерела забруднювачів води, наслідки політики контролю якісного стану води та взаємовплив різних складових водної системи.

2 Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

2.1 Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел і шість додатків.

У *вступі* здобувачка обґрунтувала актуальність теми дослідження, визначила об'єкт і предмет дослідження, сформулювала мету, задачі і методи дослідження, виділила наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, а також зазначила інформацію щодо апробації матеріалів дисертації, публікації та впровадження результатів дисертаційної роботи.

У *розділі 1* дисертації виконано аналіз предметної області, завдань і технологій проектування та впровадження системи онлайн моніторингу поверхневих вод, побудованої за технологією Інтернет речей. Виділено особливості оцінювання стану забруднення поверхневих вод та проведено аналіз підходів до використання і розташування датчиків та IoT пристроїв в гідрологічній області, розглянуті особливості обробки довготривалих даних моніторингу. Визначено основні наукові завдання дисертаційного дослідження, методика дослідження, означені основні етапи, показані взаємозв'язки з використовуваними моделями, методами і технологіями, визначені напрями та послідовність виконання завдань дисертаційної роботи. Таким чином, в розділу обґрунтована методика проведення дослідження.

У *розділі 2* представлена традиційна та удосконалена моделі мережі IoT датчиків, призначених для визначення місць розташування поверхневих та підводних вузлів. Кожну з моделей супроводжено відповідними технологіями розміщення:

- моделі розташування датчиків у водорозподільній системі річкових басейнів (без урахування глибини, з урахуванням підводних вузлів);
- методи розташування датчиків у системі моніторингу води без урахування глибини;
- метод розміщення на основі максимального покриття з використанням жадібних евристик;
- метод розташування однотипних датчиків на основі ентропії без урахування глибини для вирішення задачі перерозподілу датчиків в моніторинговій мережі;

- метод розташування датчиків у системі моніторингу води з урахуванням глибини.

Здобувачкою запропоновано новий метод розташування датчиків до повздовжнього зондування, що поєднує технологію розташування на основі ентропії з процедурою ефективного повторного використання датчиків і дозволяє враховувати параметри глибини розташування. За наведеними в роботі результатами практичних впроваджень, запропонований метод придатний до використання у вузьких ділянках та місцях розгалужень, тобто в мережах водопостачання та утилізації стічних вод.

У *розділі 3* розглянуті технології обробки даних моніторингу для визначення набору параметрів контролю якості води для IoT приладів. Для вирішення цієї задачі пропонується удосконалена технологія обробки даних на основі автоматичного вилучення ознак за допомогою аналізу головних компонент (PCA), адаптована для задачі визначення типів датчиків, використовуваних в IoT пристроях контролю якості води. Даний метод дозволяє провести аналітичне оцінювання значущості параметрів та визначити рекомендації щодо підготовки даних. Здобувачкою наведено приклади використання удосконаленої технології на розглянутій ділянці, а також надані рекомендації до обґрунтованого вибору і встановлення на датчики автоматизованого контролю компонентів, на яких за результатами аналізу, з перелічених до призначення головних компонент, фіксують максимальний відсоток зміни з сукупності факторів.

У *розділі 4* представлено методологію застосування різних методів обробки довготривалих статистичних даних аналізу якості поверхневих вод, яка базується на використанні дослідження впливу часового інтервалу та температури сезону на прогнозування розвитку динамічних змін гідрохімічних показників вод р. Сіверського Дінця в реальному часі, впливу закономірностей розвитку обчислених просторово-часових залежностей контрольованих параметрів якості на основі даних довгострокового моніторингу.

У розділі 5 представлено концептуальну основу для розробки системи моніторингу води в режимі реального часу на основі технології IoT. Обговорюються процес, стратегія та передумови для реального застосування технології IoT у постійному моніторингу якості води. Наведені результати реалізації технічної стратегії IoT на прикладі розробленої системи SmartWater підтверджують, що нові рішення щодо передачі, зберігання та обробки даних за допомогою комбінації IoT дозволяють краще зрозуміти джерела різних забруднювачів води, наслідки політики контролю води, вплив різних речовин у джерелах води. Однак, для отримання більш ефективної системи, ще потрібно вирішити питання зменшення вартості компонентів IoT для моніторингу, задачі сумісності пристроїв з різними протоколами, проблеми наявності покриття мобільного інтернету та безпеки мережі.

Висновки містять розгорнутий перелік основних результатів та рекомендацій отриманих в дисертаційній роботі.

Додатки містять список публікацій здобувача, акти впровадженнь результатів дисертації, результати попередньої оцінки впливу сезону з використанням методів статистичної обробки даних масивів даних (середньодобової температури повітря в точці виміру, температури води, азоту амонійного, заліза, нітратів, нітритів, аПАР, сульфатів, фенолів, хлоридів, ХСК, фосфатів, сухого залишку, БСК₅, БСК_{повн}, завислих речовин, водневого показника, жорсткості, прозорості, кольоровості, розчинного кисню); містять порівняльний та комбінований графічний розподіл показників виміру якості за досліджуваний період; результати аналізу даних, зібраних за допомогою традиційних методів моніторингу, а саме перевірки сезонності з допомогою діаграми «ящик з вусами», відображення календарної сезонності з використанням функцій автокореляції, ковзаного середнього, експоненціального згладжування за методом Хольта-Вінтерса та комбінованого методу ARMA; містять зведені результати статистичної обробки даних масиву за 19 показниками якості води.

2.2 В цілому наукові результати є належним чином обґрунтовані. Обґрунтованість забезпечується коректною постановкою задач, коректним використанням математичних методів, узгодженістю отриманих даних експериментальних результатів із результатами теоретичних досліджень, що отримуються статистичними методами.

3 Наукова новизна одержаних результатів

3.1 Підтверджую, що наукову новизну одержаних результатів дисертаційної роботи Критської Я.О. складають:

1) удосконалено модель мережі IoT датчиків, за рахунок компоненти урахування глибини занурення приладів IoT, що дозволяє врахувати наявність підводних вузлів і визначати місця розташування поверхневих та підводних вузлів;

2) вперше запропоновано метод розташування датчиків, що базується на евристиці з жадібним пошуком і використовує властивості ентропії з процедурою ефективного повторного використання датчиків, і дозволяє враховувати параметри глибини їх розташування;

3) набула подальшого розвитку технологія обробки даних з використанням методу головних компонент, що використана для обґрунтування вибору параметрів контролю, здатних виявити зміни якості води обмеженою кількістю датчиків, для вирішення задачі визначення типів датчиків в IoT пристроях контролю якості води;

4) удосконалено методологію обробки довготривалих статистичних даних аналізу якості поверхневих вод, сформульовано і реалізовано системний підхід до оцінювання залежностей та взаємного впливу якісних показників стану водойми і факторів, характерних для досліджуваної ділянки, що дозволяє проводити прогнозування змін гідрохімічних показників вод в довготривалій перспективі;

5) дістала подальшого розвитку технологія проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT, за рахунок адаптації технології SCAI та mash-методології до задач предметної області, що дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень щодо створення базової конфігурації IoT системи.

4 Достовірність отриманих результатів і висновків

Достовірність результатів отриманих в роботі підтверджується:

-обґрунтованістю допущень, коректним обранням математичного апарату та результатами практичних впроваджень;

- теоретичні і практичні добутки, отримані автором під час проведення дослідження базуються на сучасних методах теорії множин, теорії графів, теорії матриць, принципі субмодулярності, жадібних евристичних методах, методу імітації відпалу, максимізації ентропії, діаграмах Вороного та триангуляції Делоне, теорії ймовірностей, методах описової статистики, варіаційних обчисленнях, кореляційному аналізі, методу головних компонент, факторному аналізі, SCAI-граф, mashup методології проектування IoT систем, прототипування, моделі компресійного вимірювання що використовувались при створенні інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT.

5 Практична цінність одержаних результатів та їх подальше використання

5.1 На основі запропонованих розрахункових моделей, методів, а також відповідних програмних засобів, створена прикладна інформаційна технологія IoT, яка впроваджена для систем моніторингу водних об'єктів, і дозволяє на практиці виконувати моніторинг поверхневих вод в режимі реального часу.

5.2 Запропоновані рішення щодо організації системи моніторингу, передачі, зберігання та обробки даних за допомогою IoT дозволяють краще

зрозуміти джерела різних забруднювачів води, наслідки політики контролю води та вплив різних речовин у джерелах води.

5.3 Запропоновані моделі доведенні до конкретних інженерних методик та алгоритмів із застосуванням запропонованої інформаційної технології розробки і впровадження системи моніторингу поверхневих вод.

5.4 Аналіз дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок про досягнення поставленої мети дослідження з підвищення ефективності процесів прийняття рішень за рахунок розробки та інтеграції представлених у цьому дослідженні моделей, методів та інформаційних технологій на основі інтернету речей у впроваджених системах моніторингу поверхневих вод.

6 Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повноти викладу результатів в опублікованих працях

6.1 *Оформлення дисертації.* Повний обсяг дисертаційної роботи становить 381 сторінок друкованого тексту, що складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури і 6 додатків. Оформлення роботи відповідає усім встановленим атестаційним вимогам.

6.2 *Дотримання вимог академічної доброчесності.* Дисертаційна робота пройшла перевірку на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. Стиль викладення відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на інші джерела.

6.3 *Повнота викладу результатів в опублікованих працях.* Зміст дисертації розкриває тему дослідження, висвітлює вирішення поставлених автором наукових завдань. Наукові положення повністю розкриті. Основні результати дисертації опубліковано у 17 друкованих роботах, серед яких, 5 статей у наукових фахових журналах та збірниках наукових праць, у тому числі 1 стаття, яку опубліковано у періодичному науковому виданні іншої держави, яка входить до Європейського Союзу, 2 публікації в працях

англомовних конференцій, матеріали яких включено до бази даних Scopus і Web of Science, 10 публікацій у матеріалах (тезах і доповідях) наукових конференцій. Вимогам п.11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року № 167 відповідає 5 публікацій.

7 Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Аналіз дисертаційної роботи дозволяє визначити наступні недоліки:

- здобувачка в роботі використовує критерій бюджету на розгортання системи моніторингу (стор. 63) та надає інформацію щодо вартості компонентів пристрою контролю якості води системи SmartWater (стор. 212), але комерційну ефективність запропонованих наукових здобутків в роботі не розкрито;

- недостатньо розкритими є питання щодо обмежень ефективності, обґрунтованості та об'єктивності процесу прийняття рішень в системах моніторингу водних об'єктів;

- слід зазначити що недостатньо обґрунтовано застосування розробленої моделі мережі розташування датчиків з урахуванням підводних вузлів для контролю складу води на різних рівнях глибини в системі моніторингу поверхневих вод. Так завдання оптимізації розміщення датчиків в роботі розглядається як задача максимізації ентропії. Однак, існують інші підходи до вирішення цієї задачі що базуються на семантичних властивостях інформації, а саме розглядається максимізація *цінності* інформації. Цей підхід враховує різний внесок інформації від різних сенсорів і, на мій погляд, є більш універсальним. Нажаль інформаційно-ціннісні моделі в роботі не розглянуті;

- відповідно до назви третього розділу «Технологія обробки даних для визначення набору вимірюваних параметрів в IoT-пристроях контролю якості поверхневих вод» мова повинна йти про технологію обробки даних в IoT-пристроях контролю. Однак, зміст цього розділу присвячений аналізу різних

властостей та стану води і в ньому не приділено уваги питанням безпосередньо пов'язаними з розумними сенсорами, технологіям Data Fusion та Edge Computing, які розглядаються при реалізації таких додатків інтернету речей. На мій погляд, потрібно було або не використовувати термін IoT в назві розділу, або у кожному підрозділі розглянути питання реалізації пристроїв контролю з точки зору IoT технологій;

- за змістом в розділі 3 представлені діаграми PCA показників складу води, але не всі представлені діаграми мають опис, яким саме чином на їх підставі робляться ті чи інші висновки про головні компоненти.

Зазначені недоліки не є принциповими, не знижують загального рівня дисертації, не впливають на позитивне враження від роботи на загальну оцінку дисертації.

8 Висновки

8.1 *Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, у якій отримано нові наукові обґрунтовані результати. У дисертації вирішуються наукові завдання з удосконалення моделей і методів, які створять основи предметно-орієнтованої інформаційної технології та дозволять реалізувати процеси підтримки прийняття рішень при розробці та впровадженні систем моніторингу водних об'єктів, з можливістю інтеграції в систему моніторингу поверхневих вод.*

8.2 Вказані зауваження суттєво не зменшують загальну позитивну оцінку роботи. Автор досягла поставленої мети з вирішення актуального науково-технічного завдання розробки інформаційної технології для системи моніторингу поверхневих вод на основі концепції інтернету речей (IoT).

8.3 Одержані наукові та практичні результати є суттєвим внеском у розвиток моделей і методів, здатних підвищити ефективність та обґрунтованість процесу прийняття рішень в розробці та впровадженні систем моніторингу водних об'єктів, що розбудовуються на основі інтернету речей. Зміст роботи повністю відповідає спеціальності 122 "Комп'ютерні науки".

8.4 Дисертаційна робота за ступеню актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, сформульованих висновків і рекомендацій, їх новизни, повноти викладення в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутністю порушень академічної доброчесності, *цілком відповідає вимогам* пунктів 9-12 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167 (із змінами внесеними Постановою Кабінету Міністрів України від № 979 від 21.10.2020р.), а її авторка - Критська Яна Олександрівна, заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

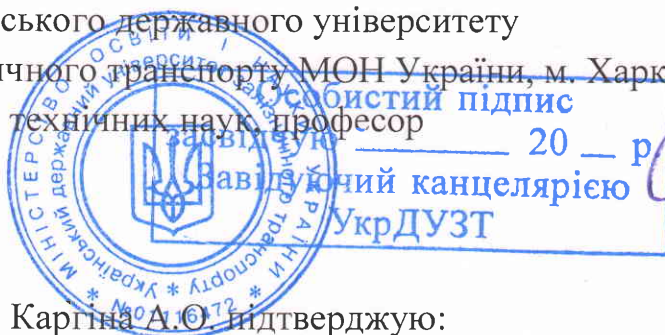
Офіційний опонент:

Завідувач кафедри інформаційних технологій

Українського державного університету

залізничного транспорту МОН України, м. Харків,

доктор технічних наук, професор



А.О. Каргін

Підпис Каргіна А.О. підтверджую: