

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук Купіна Андрія Івановича на дисертаційну роботу Критської Яни Олександрівни «Інформаційна технологія розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей», що подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 - «Комп'ютерні науки».

1. Актуальність обраної теми. Досить добре відомо, що зараз в Україні близько 80% споживання прісної води відбувається з поверхневих водойм, зокрема річок Дніпро, Південний Буг, Десна, Сіверський Донець тощо. При цьому більшість басейнів річок і водоймищ, із яких переважно забезпечуються потреби населення та промисловості у воді, не можна вважати екологічно безпечними. У деяких містах і навіть окремих регіонах відхилення в якості води від норми сягає 70–80%. Тому дисертаційна робота спрямована на розробку і впровадження вдосконалених моделей і методів, які створять концептуальну основу для розбудови і впровадження інформаційної технології для систем моніторингу поверхневих вод у режимі реального часу на основі інтернету речей є доволі своєчасною.

Аналіз предметної області та вимог до організації моніторингових систем виявив особливості оцінювання стану забруднення поверхневих вод та показав передумови використання IoT для моніторингу річок та систем розподілу води. Досить актуальними у цьому розумінні постають розглянуті питання удосконалення моделей та методів розбудови систем моніторингу вод, в яких представлені рішення щодо реалізації високотехнологічних онлайн-систем. Такі підходи поєднують в собі технології оцінки індивідуальних характеристик кожної досліджуваної ділянки; моделі розгортання ефективної мережі інструментальних засобів і додатків, побудованих на основі Інтернету речей (IoT); методи обґрунтування вибору параметрів, здатних виявити зміни якості води обмеженою кількістю датчиків, з врахуванням тенденцій довготривалих змін. На підставі цього у подальшому генерується досить велика кількість інформації, що потребує передавання і відображення в режимі реального часу. Це необхідно в першу чергу для своєчасної програмно - аналітичної обробки оперативної інформації шляхом впровадження відповідних засобів з можливістю раннього сповіщення і зворотної реакції на критичні рівні якісного стану поверхневих вод, розподільних систем реагування тощо.

Актуальність теми підтверджує виконання дисертаційної роботи при виконанні науково-дослідних проектів Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (№ ДР 0116U005784, № ДР 0120U100421), а також 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”.

2. Наукова новизна. У дисертаційній роботі Критської Я.О. вперше запропоновано метод розташування датчиків, який, на відміну від відомих, поєднує технологію розташування на основі ентропії процедурою ефективного повторного використання датчиків і дозволяє враховувати параметри глибини розташування. Метод базується на евристиці з «жадібним пошуком», що використовує властивості ентропії щодо максимальності, субадитивності та двозначності, при цьому ентропія визначається як відношення довжини зондування до довжини водотоку і максимізується на мережевий рівень.

Набула подальшого розвитку технологія обробки для визначення значущого набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води та оптимізації складної матриці даних з великою кількістю параметрів контролю на підставі застосування методу головних компонентів, що дозволяє виконати обґрунтований вибір параметрів, здатних виявити зміни якості води обмеженою кількістю датчиків.

Удосконалено методику обробки довготривалих статистичних даних аналізу якості поверхневих вод для пошуку статистично значущих зв'язків, для вибору оптимальної кількості параметрів контролю і визначення набору датчиків в IoT-пристроях контролю якості води в цілому, залежностей та взаємного впливу якісних показників стану водойми і факторів, характерних для досліджуваної ділянки, та проводити прогнозування змін гідрохімічних показників вод в довготривалій перспективі.

Запропоновано для подальшого розвитку конкретний метод проектування інновацій IoT, заснований на графах SCAI та методології «mashup» (змішування). Технологія дозволяє підвищити обґрунтованість прийняття рішень щодо створення базової конфігурації IoT-системи.

3. Практичне значення роботи полягає у тому, що основні наукові результати дисертації дозволяють на практиці виконувати моніторинг поверхневих вод в режимі реального часу з використанням запропонованих

розрахункових моделей, методів, а також відповідних програмних засобів. Це створює передумови для оперативного оцінювання стану забруднення поверхневих вод на підставі впровадження нових, адаптації та інтеграції існуючих моделей, методів та інформаційних технологій проектування віддаленої системи моніторингу. Отримані результати досліджень можуть бути використані для інтеграції в глобальну систему моніторингу поверхневих вод на основі IoT.

4. Загальні дані про структуру роботи. Дисертація Критської Я.О. складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури з 162 найменувань на 20 сторінках, 6 додатків на 155 сторінках. Повний обсяг роботи становить 381 сторінку друкованого тексту, з них анотація – на 8 стор., зміст – на 5 стор., перелік умовних скорочень – на 1 стор., основний текст – на 206 стор. Основний текст роботи містить 73 рисунки, 42 таблиці. Оформлення роботи відповідає необхідним вимогам ДАК України.

5. Критичний огляд вмісту дисертації.

Вступ відображає огляд предметної області та окреслення основних положень роботи. Послідовне обґрунтування актуальності теми дослідження, визначені об'єкт, предмет, мета дослідження, обрані методи для вирішення поставлених задач. А також зазначення наукової новизни й практичного застосування отриманих результатів.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу моделей, методів та інформаційних технологій розробки і впровадження систем водного моніторингу. Ґрунтуючись на вимогах до вирішення поставлених у роботі завдань і обраного математичного апарату, визначена загальна методика досліджень. Виділені умови та можливості використання IoT для моніторингу річок, складності проведення і отримання оперативних спостережень стану забруднення річок та систем розподілу води. Проведений аналіз підходів та вимог до розташування датчиків, IoT пристроїв у системах моніторингу водних об'єктів, що охоплює досвід європейських країн. Для формування багатовимірної картини стану водних систем використано просторово-динамічні моделі процесів елементарних річкових течій. Докладно обґрунтовано фундаментальні визначення набору датчиків для формування виду та кількості параметрів вимірювання якості вод для формування ефективного механізму обробки даних для інтерпретації результатів,

об'єднання змінних та значущих висновків. Окремо виділені особливості обробки довгострокових даних моніторингу та моніторинг загроз через зміну клімату для довгострокової перспективи сценарію визначення якості води. На основі проведеного аналізу сформульовано загальне завдання дисертаційного дослідження з розробки технології розміщення та локалізації датчиків системи моніторингу води; розробки методу обробки даних для визначення набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води; удосконалення методики обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм; розробки елементів інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT і їх практичної реалізації. Результати аналізу технологічних передумов розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей, показали необхідність подальшої розробки моделей, методів та інформаційних технологій для моніторингу водних об'єктів.

Другий розділ визначає технологію розміщення датчиків та IoT пристроїв системи моніторингу води та розкриває вирішення задач оптимізації розміщення датчиків, враховуючи проблеми покриття і спрямовані на пошук найбільш інформативного розміщення за умови обмеженої кількості компонентів станцій моніторингу. Запропоновані моделі формування множинних вимог до розгортання системи моніторингу у водорозподільній системі річкових басейнів представляють можливість швидкого налаштування мережі для максимізації взаємної інформації у двовимірному просторі уздовж довжини відрізка водотоку. Також приділено особливу увагу визначенню тривимірної моделі, що враховує різницю умов швидкості, глибини і зонування положення основної течії відносно центрального або бічного розташування (вздовж берегів) за рахунок організації контролю на різних рівнях глибини. Отже, з обчислювальної точки зору вперше запропоновано оптимальний метод розташування датчиків, що базується на евристиці з «жадібним пошуком» і використовує властивості максимізації загальної ентропії мережі за умов встановлених обмежень покриття IoT датчиків. Представлена покрокова процедура вирішення задач перерозподілу датчиків в існуючій моніторинговій мережі для ефективного повторного використання датчиків як в повздовжньому, так і тривимірному зондуванні. Наведено приклад реалізації методу розташування одинадцяти однотипних вузлів (датчиків) на основі ентропії без урахування глибини.

У третьому розділі пропонується вибір технології обробки даних для моніторингу та рішення удосконалення методу обробки даних для визначення

значущого набору датчиків в IoT пристроях контролю якості води та оптимізації складної матриці даних з великою кількістю параметрів контролю. Обґрунтовано застосування для вирішення задачі вибору набору параметрів для IoT приладів контролю якості води багатокомпонентний факторний аналіз - аналіз головних компонентів (РСА), який забезпечує автоматичне вилучення ознак за оцінкою внеску у загальну якість води. Можливості використання вдосконаленого методу РСА продемонстровано на прикладі реалізації технології визначення наборів параметрів для IoT приладів контролю якості води за даними зібраними у період 2007 -2017 р. з ділянки вод річки Сіверський Донець. У роботі проведено дослідження 22 наборів параметрів блоку гідрохімічно складу, а саме: аналіз набору показників сольового складу, аналіз набору показників вмісту органічних речовин, аналіз набору показників вмісту біогенних елементів, аналіз набору показників кисневого режиму, аналіз групи загальних показників, аналіз блоку показників трофо-сапробіологічного стану та інших комплексних показників за групами. Представлений підхід є універсальним і може використовуватися при виборі датчиків, розташованих і на стандартних станціях моніторингу поверхневих вод.

У четвертому розділі здійснено удосконалення методики обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм. Це дозволяє реалізувати системний підхід до обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм, виконувати пошук статистично значущих зв'язків для вибору оптимальної кількості параметрів контролю і визначення набору датчиків в IoT-пристроях контролю якості водив цілому. Підхід відрізняється від існуючих тим, що враховує мінливості тенденцій, прогнозів, які спираються на попередні довготривалі спостереження і можуть в повній мірі забезпечити врахування періодичних/циклічних впливів на якісні показники поверхневих вод, як природного характеру (опадів, зсувів, температурних аномалій, затоплень, далеко виходячи за сезонні адитивні коливання), так і впливи обумовленості, взаємозв'язку системного антропогенного характеру.

У п'ятому розділі наведена розробка та практична реалізація інформаційної технології проектування системи моніторингу поверхневих вод на основі IoT. На прикладі системи моніторингу якості поверхневих вод пропонується конкретний метод проектування інновацій IoT, заснований на графах SCAI та методології «mashup» (змішування). Процес розробки та впровадження системи представлено послідовністю пов'язаних заходів, починаючи з фази визначення проекту, де розглядаються цілі та інформаційні

потреби, і закінчуючи розповсюдженням інформаційного продукту для використання громадами, науковцями та особами, що приймають рішення. Детальну увагу приділено етапу здійснення розробки аналітичних моделей та алгоритмів прийняття рішень для моніторингу в режимі реального часу та довгострокового періоду. Запропонований підхід до розробки системи моніторингу води в режимі реального часу був використаний на етапі проектування системи SmartWater. Окреслені питання та завдання, які ще потрібно вирішувати для отримання більш ефективної системи моніторингу води на основі IoT.

Висновки, які наведено у дисертаційній роботі цілком узгоджуються з результатами практичної реалізації, валідації та впровадження розроблених засобів і технологій, у достатній мірі коректні й аргументовані.

Перелік літератури має 162 найменувань літературних джерел, що використані автором та 17 найменувань робіт автора, з них 5 статей у наукових фахових журналах, 2 статті у працях англomовних конференцій, матеріали яких включено до бази даних Scopus і Web of Science, 10 публікацій у матеріалах (тезах і доповідях) фахових міжнародних та українських конференціях.

Отже, дисертаційна робота Критської Я.О. є актуальним і цілком завершеним науковим дослідженням. При її виконанні дисертант показав себе грамотним дослідником, що вміло використовує аналітичні літературні дані, математичне моделювання та методи математичної обробки результатів. Достовірність експериментальних даних та коректність наукових висновків не викликає сумнівів.

6. Повнота викладення основних результатів. Результати дисертаційної роботи повною мірою представлені в публікаціях автора у наукових фахових виданнях (статтях у фахових журналах, тезах доповідей). Практична цінність роботи підтверджена актами впровадження результатів дослідження на КП “Рубіжанське ВУВКГ” Рубіжанської міської ради (акт впровадження від 29.08.2017 р.) та ТОВ НВП “Зоря” (акт впровадження від 22.01.2021 р.). А також у навчальному процесі Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Дисертацію оформлено згідно з вимогами ДАК України.

7. Зауваження. Принципових недоліків та/або зауважень, які б ставили під сумнів основні положення дисертації, немає. Але слід зазначити наявність окремих вад у тексті дисертації:

1) при доведенні актуальності дослідження у вступі та першому розділі слід більше спиратися на реальні чисельні показники (наприклад, стану забруднення, динаміки, науково обґрунтованих прогнозів тощо);

2) у першому розділі забагато інформації прикладного характеру, наприклад, щодо можливих технологічних рішень. З іншого боку там недостатньо аналізу альтернативних моделей та методів, що є задачами роботи та розглядаються в основних розділах 2-4. Такий огляд частково наводиться далі переважно на початку зазначених дослідницьких розділів (наприклад, с.64, с.73, 99-100, 184-191 тощо). Але такий підхід авторки не є слушним. Тому все це бажано було зазначити саме у першому розділі.

3) подекуди відсутні одиниці вимірювання або пояснення до складових формул, приведених в основній частині роботи;

4) незрозуміло, чим зумовлені відображені зміни характеру тренду з 2014 року m (стор. 181 - дослідження зміни тренду з 2014 р. за методом Хольта-Вінтерса);

5) також не вдалося встановити, чи розглядалася авторкою можливість вирішення завдань оптимізації типу (2.1)-(2.2) іншими методами, наприклад, стохастичної оптимізації чи еволюційними (генетичними алгоритмами) тощо. Досить цікаво було зробити такі порівняння з застосованим підходом на основі ентропії;

6) дещо несподівана кількість висновків для розділу 2, де при кількості підрозділів 2.1-2.5 декларується 2 висновки у вигляді анотації. Теж саме у розділі 3, де чотири підрозділи 3.1-3.4;

7) в третьому розділі (стор.128) вказано посилання на представлення розрахункової частини за методом РСА для групи загальних, специфічних показників в додатку В, але зазначені розрахунки в додаток не додані;

8) для всебічного обґрунтування прийнятих підходів доцільно здійснити порівняльну характеристику похибок вимірювання показників якості води із застосуванням датчиків IoT і аналітичних лабораторних методів. Але чи можна ввести зазначений спосіб вимірювання до атестованих методів вимірювання?

9) цілком доречно було б навести також приклад практичних застосувань «Методу розташування датчиків у системі моніторингу води з урахуванням глибини»;

10) 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;

11) у загальних висновках (стор. 225) бажано було додати преамбулу, де узагальнюється головна наукова задача, що вирішена у роботі, головні наукові та прикладні результати;

12) до оформлення основного тексту дисертації також є певні зауваження. А саме: неточність перекладу окремих термінів (наприклад, «математичне очікування», стор. 154, замість «математичне сподівання»); застосування «русизмів» («таким чином»), прийменника «по» тощо;

13) кількість додатків роботи та їх обсяг мабуть треба було суттєво скоротити. Крім того, щодо змісту додатків є такі переважно технічні зауваження:

- в додатку В (стор. 271-318) для 13-ти показників якості («азот нітритний» ... «аПАР» відсутні підписи назв доданих таблиць кількості вимірів, розподілення параметру за роками, розподілу стандартного відхилення/дисперсії та назв зображених рисунків порівняльних графічних розподілів за місяцями/роками, за весь період, та їх порівняльних діаграм. Також тут на стор. 314, 317-318 результат графічної оцінки зміщеної дисперсії у полі - фосфати і аПАР води не відображено на рисунку;

- у додатку Г таблиця Г.12 (стор. 358-362), Г.13 (стор. 362-365), Г.14 (стор.365-368) та в додатку Д таблиця Д.1 (стор. 370-375) та в розділі 4 (стор. 170-173) не оформлено підписом «Продовження табл.» перенос таблиці на інший аркуш.

Проте, наведені зауваження принципово не впливають на загальну оцінку дисертації Критської Я.О. і не зменшують загального враження про роботу, оскільки вони безпосередньо не стосуються основних наукових положень та результатів, що виносяться на захист.

8. Висновок.

Представлена дисертаційна робота Критської Я.О. є завершеним самостійним дослідженням, як за обсягом виконаних досліджень, так і за своєю актуальністю обраної теми, обґрунтованості наукових положень, сформульованих висновків і рекомендацій, новизною отриманих результатів, теоретичним, практичним значенням, повнотою викладення в наукових публікаціях та відсутністю порушень академічної доброчесності. Робота повністю відповідає вимогам пунктів 9-12 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167, а її авторка, Критська Яна Олександрівна, заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 - комп'ютерні науки.

Завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж
Криворізького національного університету,
доктор технічних наук, професор



А.І. Купін

