

## АНОТАЦІЯ

*Критська Яна Олександрівна.* Інформаційна технологія розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 “Комп’ютерні науки”. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєверодонецьк, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню актуального науково-технічного завдання розробки інформаційної технології для системи моніторингу поверхневих вод на основі концепції інтернету речей (IoT), 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.

Досягнення мети дослідження дозволяє:

- забезпечити процеси прийняття рішень по створенню мережі моніторингу поверхневих вод, зокрема розміщенню IoT приладів за трьома вимірами враховуючи глибину їх розташування;
- забезпечити обґрунтований вибір компонентного складу датчиків, використовуваних в IoT приладах та станціях моніторингу води;
- створити концептуальну основу для розробки системи моніторингу води в режимі реального часу на основі технології IoT.

Результатом вирішення наукового завдання є підвищення ефективності, обґрунтованості та об’єктивності процесу прийняття рішень по розробці та впровадженню систем моніторингу водних об’єктів, що розбудовуються на основі інтернету речей.

Об’єктом дослідження є процеси забезпечення підтримки прийняття рішень при розробці та впровадженні системи моніторингу поверхневих вод

на основі Інтернету речей.

Предметом дослідження є моделі та метод інформаційної технології розробки та впровадження системи моніторингу поверхневих вод на основі Інтернету речей.

У роботі виконано аналіз предметної області та вимог до розробки і впровадження систем моніторингу поверхневих вод на основі інтернету речей. Виділено особливості оцінювання стану забруднення поверхневих вод, розглянуто передумови використання IoT для моніторингу річок та систем розподілу води.

За результатами аналізу сучасного стану та тенденцій розвитку систем моніторингу водних об'єктів обґрунтовано необхідність створення ефективних моделей, методів та інформаційних технологій, здатних забезпечити підтримку прийняття рішень пов'язаних з розробкою та використанням систем моніторингу поверхневих вод.

Обґрунтовано проведення дисертаційних досліджень в контексті створення нових, адаптації та інтеграції існуючих моделей, методів та інформаційних технологій на основі інтернету речей.

Обрані методи дослідження базуються на методах теорії множин, теорії графів, теорії матриць, принципі субмодулярності, жадібних евристичних, методу імітації відпалу, максимізації ентропії, діаграмах Вороного та триангуляції Делоне, які використовувались при розроблянні технології для розміщення датчиків та IoT пристроїв в системі моніторингу; теорії ймовірностей, методах описової статистики, варіаційних обчисленнях, кореляційному аналізі, що використовувались при розроблянні методології обробки довготривалих даних для аналізу якості водойм; методу головних компонент, факторному аналізі, що використовувались при розроблянні методу обробки даних для визначення набору датчиків в IoT-пристроях контролю якості води; 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.

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.

Вперше запропоновано метод розташування датчиків, який на відміну від відомих, поєднує технологію розташування на основі ентропії з 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.

Дістала подальшого розвитку технологія обробки даних на основі автоматичного вилучення ознак шляхом застосування методу головних компонент, для вирішення задачі визначення типів датчиків, використовуваних в IoT пристроях контролю якості води, що дозволяє виконати обґрунтований вибір параметрів, здатних виявити зміни якості води обмеженою кількістю датчиків.

Удосконалено методологію обробки довготривалих статистичних даних аналізу якості поверхневих вод, шляхом систематизації процесів комплексного аналізу і прогнозування, що дозволяє сформулювати і реалізувати системний підхід до оцінювання залежностей та взаємного впливу якісних показників стану водойми і факторів, характерних для досліджуваної ділянки, та проводити прогнозування змін гідрохімічних показників вод в довготривалій перспективі.

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, починаючи з ціннісної пропозиції, що є особливо важливим для експертів предметних областей, які не стосуються інформаційних та комунікаційних технологій.

Усі теоретичні розробки дисертації доведено до конкретних інженерних методик та алгоритмів із застосуванням запропонованої інформаційної технології розробки і впровадження системи моніторингу поверхневих вод.

На основі запропонованих та розроблених моделей, методів та інформаційних технологій створено апаратні засоби та програмні реалізації аналітичних та імітаційних моделей.

Розроблені моделі, методи, інформаційне та програмне забезпечення використані 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. Сєвєродонецьк; при виконанні міжнародного проекту Європейського Союзу ERASMUS+ ALIOT 573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-SBHE-JP “Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications”; при вивченні дисциплін “ІТ для моніторингу та моделювання”, “ІТ аудит і управління ризиками на підприємстві”, “Програмна інженерія та управління ІТ проектами” у навчальному процесі Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (акт впровадження від 09.06.2019 р.).

Результати тестового впровадження на підприємствах підтверджують, що запропоновані рішення щодо організації системи моніторингу, передачі, зберігання та обробки даних за допомогою ІоТ дозволяють краще зрозуміти джерела різних забруднювачів води, наслідки політики контролю води та вплив різних речовин у джерелах води.

Матеріали дисертації достатньо повно викладені у 17 друкованих роботах: з них 5 статей у виданнях, які зазначені в переліку фахових видань України з технічних наук, у тому числі 1 стаття у фаховому виданні іншої

держави, що входить до Європейського Союзу, 2 статті в працях англомовних конференцій, що включено до бази даних Scopus, 10 тез доповідей всеукраїнських та міжнародних конференцій.

Ключові слова: інформаційна технологія, інтернет речей, моніторинг, поверхневі води, водний об'єкт, підтримка прийняття рішень, аналіз даних.

## ABSTRACT

*Yana Krytska.* Information technology of development and implementation of the surface water monitoring system based on the Internet of Things. – Manuscript copyright.

Thesis on competition of scientific degree of Doctor of Philosophy by specialty 122 – Computer Science. – Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, 2021.

The dissertation is devoted to the enhancing models and methods that will create the basis of subject-oriented information technology and allow to implement decision support processes in the development and implementation of monitoring systems for water bodies.

The main scientific results are:

(1) The model of the IoT sensor network has been improved, due to the depth of immersion component for IoT devices, which allows to take into account the presence of underwater nodes and determine the location of both surface and underwater nodes.

(2) For the first time, a method of sensor placement was proposed, which, unlike the known ones, combines entropy-based placement technology with the procedure of efficient reuse of sensors and allows taking into account the parameters of the location depth.

(3) The technology of data processing based on automatic extraction of features by applying the principal component analysis for determining the types of

sensors used in IoT water quality control devices, which allows making a reasonable choice of parameters capable of detecting changes in water quality.

(4) The methodology of processing long-term statistical data of surface water quality analysis has been improved by systematizing the processes of complex analysis and forecasting. This allows formulating and implementing a systematic approach to assessing the dependences and mutual influence of reservoir quality indicators and factors characteristic of the study area and forecasting changes in hydrochemical water parameters in the long run.

(5) The technology of designing a surface water monitoring system based on IoT has been further developed by adapting SCAI graphs and mash-methodology to the tasks of the subject area. This allows to increase the validity of decision-making to create a basic IoT system configuration, starting with the value proposition, which is especially important for experts in subject areas not related to information and communication technologies.

Key words: information technology, Internet of Things, monitoring, surface waters, water body, decision support, data analysis.

## **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### ***Праці, які відображають основні наукові результати дисертації***

Статті у періодичних наукових виданнях держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу

[1] Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Velykzhanin A., Barbaruk L., Suvorin O., Shorohov M. “Emerging Tools for Design and Implementation of Water Quality Monitoring Based on IoT”, *Complex Systems Informatics and Modelling Quarterly*. Published online by RTU Press, <https://csimq-journals.rtu.lv> Article 138, Issue 24, September/October 2020, pp. 1-14, 2020 <https://doi.org/10.7250/csimq.2020-24.01>.

Статті у наукових фахових виданнях України

[2] Krytska Y.O., Biloborodova T.O., Skarga-Bandurova I.S. “Data mining techniques for IoT analytics”. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. Сєвєродонецьк : СНУ*

ім. В. Даля, № 5 (253), с. 53-62. 2019. DOI: 10.33216/1998-7927-2019-253-5-53-62.

[3] Критська Я.О. “Моніторинг та раціональне використання водних ресурсів у реаліях сьогодення”. *Екологічні науки : науково-практичний журнал.* / Головний редактор О.І. Бондар. – Київ: ДЕА, № 1(24). Т. 2, с. 160-163. 2019. DOI: 10.32846/2306-9716-2019-1-24-2-31.

[4] Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С., Топчій А.О. “Методи і моделі збору та обробки даних в системах моніторингу водних об’єктів заснованих на IoT”. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, № 6 (247), с. 205-209.* 2018.

[5] Критська Я.О., Великжанін А.Ю., Скарга-Бандурова І.С., Суворін О.В. “Методологія розробки системи онлайн моніторингу поверхневих вод”. *Наукові вісті Давіського університету: Електронне наукове фахове видання, № 13.* 2017. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu\\_2017\\_13\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2017_13_6)

#### ***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

[6] Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Shorohov M., Suvorin O., Barbaruk L., Ozheredova M. “Towards Development IoT-based Water Quality Monitoring System”, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> IEEE International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*, pp. 140-145, 2019. doi: 10.1109/FiCloudW.2019.00038 (**Scopus**).

[7] Y. Krytska, I. Skarga-Bandurova, A. Velykzhanin “IoT-based Situation Awareness Support System for Real-Time Emergency Management.” *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 2017 9th IEEE International Conference. IEEE, 2017. Vol. 2, pp. 955-960.* 2019. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095228. (**Scopus**).

[8] Skarga-Bandurova I., Krytska Y.O., Barbaruk L.V. “Application of Internet of Things for long term water quality monitoring”, *Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси дев’ятого міжнар. наук.-техн. конф.*, Харків: НТУ “ХПІ”, С. 77, 2019.

[9] Skarga-Bandurova I., Krytska Y. “IoT-based analytics in water quality monitoring system”. *Сучасні технології в освіті та науці: матеріали міжнар. конф. (Сєвєродонецьк, 5–7.03.2019 р.)* – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, с. 102-104. 2019.

[10] Krytska Y., Biloborodova T., Skarga-Bandurova I. “Real-Time Data Analytics for the Internet of Things”. *In: Theoretical and Applied Computer Science and Information Technology: Proceedings of the III International Conference TACSIT-2019, May 8-9 2019, Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, pp. 37-39. 2019.*

[11] Критська Я.О., Скарґа-Бандурова І.С. “Модель реалізації взаємодії різних IoT платформ для моніторингу водних об’єктів”. *Комп’ютерні інтелектуальні системи та мережі. Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної WEB конференції аспірантів, студентів та молодих вчених (20-22 березня 2019 р.)* – Кривий Ріг: Криворізький національний університет, с. 122-124. 2019.

[12] Krytska Y., Stewasher J. “Integrated Water Resources Management System”. *Сучасні технології в освіті та науці: матеріали міжнар. конф. (Сєвєродонецьк, 19-22.02.2018 р.)* – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В.Даля, с. 47-48. 2018.

[13] Критська Я.О., Топчій А.О. “Засоби он-лайн моніторингу поверхневих вод”. *IT-Ідея – 2018: збірник науково-практичних праць Сєвєродонецьк : Вид-во Східноукр. ун-ту ім. В. Даля, с. 14-15. 2018.*

[14] Топчій А.О., Критська Я.О., Скарґа-Бандурова І.С. “Моделі виявлення випадків забруднення води на основі аномалій”. *Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів. Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції, 23-27 квітня 2018 р., м. Рубіжне / А. С. Бушуєв., Ю. А. Завойських. – Рубіжне: видавець О. Зень, с. 278-279. 2018.*

[15] Сіряк Р.В., Критська Я.О., Скарґа-Бандурова І.С. “Прогнозування рівня збіднення води киснем з використанням модифікацій моделі Стрітера-

Фелпса”. *Theoretical and Applied Computer Science and Information Technology: Proceedings of the II International Conference TACSIT-2017, May 12-13, 2017.* – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. pp. 14-20. 2017.

[16] Критська Я.О., Сіряк Р.В., Скарга-Бандурова І.С. “Система моніторингу водних об’єктів на основі IoT”. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017р.:* у 4 ч. Ч. IV. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». с. 92. 2017.

[17] Критська Я.О., Сіряк Р.В., Великжанін А.Ю. “Дослідницький проект The Smart Water”. *IT-Ідея – 2016: збірник науково-практичних праць* Сєверодонецьк: Вид-во Східноукр. ун-ту ім. В. Даля, с. 7. 2016.

***Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

18. Skarga-Bandurova I., Krytska Y., Biloborodova T. (2019) “IoT based Water Quality Monitoring System” in Internet of Things for Industry and Human Applications. Volume 3. Assessment and Implementation. IoT for Ecology, Safety and Security Monitoring Systems. Section 49. / Ed. V. S. Kharchenko. – Ministry of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University KhAI, 2019, pp. 627-671.

19. Шорохов М.М., Суворин О.В., Ожередова М.А., Зубцов Є.І., Барбарук Л.В., Критська Я.О., Мочалов В.В. Патент на корисну модель “Спосіб сумісної утилізації відпрацьованих промивних вод, що містять сполуки шестивалентного хрому, та лужних стічних вод содового виробництва”. Державний реєстр патентів України на корисні моделі, реєстраційний номер: № 133168, 25.03.2019.

20. Суворін О.В., Ожередова М.А., Близнюк О.М., Шорохов М.М., Критська Я.О. “Хімічне осадження очищення води, що містить Cr (VI): вплив дозування Ca (OH) 2 та Ba (OH) 2 на ступінь очищення”. *Питання хімії та хімічної технології*, 2020. DOI: 10.32434/0321-4095-2020-129-2-112-117.