

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інформаційно-технологічні інструменти розумних систем

водопостачання

Виконав: студент IV курсу, групи СН-41

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

		Воськало Я.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Мацюк Г.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Липак Г.І.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Боднарчук І.О.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Гащин Н.Б.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 23 » червня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Воськало Яна Романівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційно-технологічні інструменти розумних систем водопостачання

Керівник роботи Мацюк Галина Романівна, канд. наук соц. комунік., доцент кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 7 » травня 2025 року № 4/7-444

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24 червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації щодо методів та засобів інформаційно-технологічного супроводу процесів та систем водопостачання, IoT пристроїв та систем.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Опис та аналіз предметної області «розумного» водопостачання. 1.1 Опис предметної області водопостачання. 1.2 Роль ІКТ та IoT у збереженні водних ресурсів. 1.3 Аналіз методів проектування «розумних» застосунків водопостачання. 2. Інформаційно-технологічні інструменти супроводу процесів «розумного» водопостачання. 2.1 Інтернет речей (IoT). 2.2 Мікроконтролери в «розумних» системах водопостачання. 2.3 Давачі та сенсори в «розумних» системах водопостачання. 2.4 Бездротові комунікаційні технології в «розумних» системах водопостачання. 3. Прототипування системи «розумного» водопостачання. 3.1 Архітектура системи «розумного» водопостачання. 3.2 Модель «розумної» системи водопостачання. 3.3 Рекомендації щодо використаних інструментів для систем «розумного» водопостачання. 3.4 Аналіз даних водопостачання у режимі реального часу. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки. Перелік джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Сенчишин В.С., доцент кафедри МТ	12.06.2025	15.06.2025

7. Дата видачі завдання 29 січня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	30.01.2025	
2.	Підбір джерел про методи та засоби інформаційно-технологічного супроводу процесів та систем водопостачання, IoT пристрої та системи	31.01.2025-03.02.2025	
3.	Опрацювання джерел щодо методів та засобів інформаційно-технологічного супроводу процесів та систем водопостачання, IoT пристроїв та систем	04.02.2025-06.02.2025	
4.	Виконання дослідження щодо інформаційно-технологічних інструментів розумних систем водопостачання	07.02.2025-11.02.2025	
5.	Оформлення розділу «Опис та аналіз предметної області «розумного» водопостачання»	03.06.2025-05.06.2025	
6.	Оформлення розділу «Інформаційно-технологічні інструменти супроводу процесів «розумного» водопостачання»	06.06.2025-08.06.2025	
7.	Оформлення розділу «Прототипування системи «розумного» водопостачання»	09.06.2025-11.06.2025	
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	12.06.2025-13.06.2025	
9.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	14.06.2025-15.06.2025	
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	16.06.2025-17.06.2025	
11.	Нормоконтроль	18.06.2025-19.06.2025	
12.	Перевірка на плагіат	20.06.2025	
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2025	
14.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2025	

Студент

(підпис)

Воськало Я.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Мацюк Г.Р.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Інформаційно-технологічні інструменти розумних систем водопостачання // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Воськало Яна Романівна // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СН-41 // Тернопіль, 2025 // С. 76, рис. – 2, табл. – 11, кресл. – 14, додат. – 0, бібліогр. – 91.

Ключові слова: IoT, інформаційні технології, водопостачання, розумний водомір, розумний застосунок, розумна система, розумне місто.

Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є комплексне дослідження та аналіз інформаційно-технологічних інструментів, що застосовуються для проектування, прототипування та супроводу процесів «розумних» систем водопостачання. В першому розділі кваліфікаційної роботи описано предметну область водопостачання. Висвітлено роль ІКТ та IoT у збереженні водних ресурсів. Проаналізовано методи проектування «розумних» застосунків водопостачання.

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено інформаційні технології та інструменти супроводу процесів «розумного» водопостачання. Зокрема розглянуто Інтернет речей (IoT). Проаналізовано мікроконтролери в «розумних» системах водопостачання. Досліджено давачі та сенсори в «розумних» системах водопостачання. Розглянуто бездротові комунікаційні технології в «розумних» системах водопостачання.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано прототипування системи «розумного» водопостачання. Сформована архітектура системи «розумного» водопостачання. Описана модель «розумної» системи водопостачання. Сформовано рекомендації щодо використаних інструментів для систем «розумного» водопостачання. Розглянуто аналіз даних водопостачання у режимі реального часу.

ANNOTATION

Information Technology Tools for Smart Water Supply Systems // Qualification work of the educational level "Bachelor" // Voskalo Yana // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group SN-41 // Ternopil, 2025 // P. 76, fig. - 2, tabl. - 11, chair. - 14, annexes. – 0, references - 91.

Keywords: IoT, information technology, water supply, smart water meter, smart application, smart system, smart city.

The purpose of this qualification work at the Bachelor's level is a comprehensive study and analysis of information technology tools used for the design, prototyping and support of processes of "smart" water supply systems. The first section of the qualification work describes the subject area of water supply. The role of ICT and IoT in the conservation of water resources is highlighted. Methods for designing "smart" water supply applications are analyzed.

The second section of the qualification work examines information technologies and tools for supporting the processes of "smart" water supply. In particular, the Internet of Things (IoT) is considered. Microcontrollers in "smart" water supply systems are analyzed. Transducers and sensors in "smart" water supply systems are studied. Wireless communication technologies in "smart" water supply systems are considered.

In the third section of the qualification work, prototyping of the "smart" water supply system is performed. The architecture of the "smart" water supply system is formed. The model of the "smart" water supply system is described. Recommendations have been made regarding the tools used for smart water supply systems. Real-time water supply data analysis has been considered.

ПЕРЕЛІК ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ІКТ – інформаційні та комунікаційні технології.

3GPP (англ. 3rd Generation Partnership Project) – проект партнерства третього покоління об'єднує сім організацій з розробки телекомунікаційних стандартів, відомих як організаційні партнери.

IoT – Інтернет речей.

SINR (англ. Signal to Interference Plus Noise Ratio) – відношення сигналу до шуму та інтерференції.

біт/с – біт за секунду — базова одиниця вимірювання швидкості передачі інформації в обчислювальній техніці і телекомунікаціях.

M2M (англ. Machine-to-Machine) – машино-машинна взаємодія.

ML (англ. Machine Learning) – машинне навчання.

MQTT (англ. Message Queue Telemetry Transport) – спрощений мережевий протокол, що працює на TCP/IP. Використовується для обміну повідомленнями між пристроями за принципом видавець-підписник.

QPSK (англ. Quadrature Phase-Shift Keying) – Квадратурно-фазова модуляція – один з видів фазової модуляції, який використовується для передачі цифрового сигналу.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОПИС ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «РОЗУМНОГО» ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	10
1.1 Опис предметної області водопостачання	10
1.2 Роль ІКТ та IoT у збереженні водних ресурсів	12
1.3 Аналіз методів проектування «розумних» застосунків водопостачання	14
1.4 Висновок до першого розділу	23
РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ІНСТРУМЕНТИ СУПРОВОДУ ПРОЦЕСІВ «РОЗУМНОГО» ВОДОПОСТАЧАННЯ...	24
2.1 Інтернет речей (IoT)	24
2.2 Мікроконтролери в «розумних» системах водопостачання	32
2.3 Давачі та сенсори в «розумних» системах водопостачання	35
2.4 Бездротові комунікаційні технології в «розумних» системах водопостачання	36
2.4.1 Технології бездротового зв'язку короткого радіусу дії	38
2.4.2 Технології бездротового зв'язку великого радіусу дії	39
2.5 Висновок до другого розділу	44
РОЗДІЛ 3. ПРОТОТИПУВАННЯ СИСТЕМИ «РОЗУМНОГО» ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	45
3.1 Архітектура системи «розумного» водопостачання.....	45
3.2 Модель «розумної» системи водопостачання	46
3.3 Рекомендації щодо використаних інструментів для систем «розумного» водопостачання	52
3.4 Аналіз даних водопостачання у режимі реального часу	55
3.5 Висновок до третього розділу	56
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	57
4.1 Забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК	57

4.2 Домедична допомога при ураженні електричним струмом.....	61
4.3 Висновок до четвертого розділу	64
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	67

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні виклики, пов'язані зі зміною клімату, урбанізацією та збільшенням населення, вимагають переходу від традиційних підходів до управління водопостачанням до інтелектуальних рішень. Існуючі мережі часто характеризуються значними втратами води через витіки, несанкціоноване використання та неефективне споживання. Впровадження розумних систем, які базуються на передових ІКТ та IoT, дає можливість здійснювати моніторинг, контроль та оптимізацію процесів водопостачання в режимі реального часу, що є ключовим для мінімізації втрат, підвищення ефективності та забезпечення сталого водокористування.

Саме тому детальний аналіз інформаційно-технологічних інструментів, як от Інтернет речей, мікроконтролери, різноманітні давачі та сенсори, а також бездротові комунікаційні технології, є фундаментальним для розробки та впровадження ефективних «розумних» систем водопостачання. Розуміння архітектури цих систем, методів їх прототипування та моделювання, а також особливостей аналізу даних у режимі реального часу, дає змогу не лише створювати технологічно досконалі рішення, але й адаптувати їх до конкретних потреб та умов експлуатації. Це безпосередньо впливає на здатність систем оперативно реагувати на аварійні ситуації, прогнозувати несправності та оптимізувати розподіл водних ресурсів. Тому детальний аналіз інформаційно-технологічних інструментів «розумних» систем водопостачання є актуальним напрямком сучасних досліджень.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є комплексне дослідження та аналіз інформаційно-технологічних інструментів, що застосовуються для проектування, прототипування та супроводу процесів «розумних» систем водопостачання. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Описати та проаналізувати предметну область «розумного» водопостачання.

– Дослідити та систематизувати інформаційно-технологічні інструменти, що використовуються для супроводу процесів «розумного» водопостачання.

– Провести прототипування системи «розумного» водопостачання, включаючи розробку її архітектури.

Об’єкт дослідження: розумні системи водопостачання.

Предмет дослідження: інформаційно-технологічні інструменти, принципи їх функціонування та застосування в розумних системах водопостачання.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наданні комплексного аналізу та обґрунтованих рекомендацій щодо застосування сучасних інформаційно-технологічних інструментів для проектування, прототипування та забезпечення безпечного функціонування ефективних «розумних» систем водопостачання, що сприятиме оптимізації водокористування та збереженню ресурсів.

РОЗДІЛ 1. ОПИС ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «РОЗУМНОГО» ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1 Опис предметної області водопостачання

Вода є життєво важливим ресурсом для сталого розвитку та економічної конкурентоспроможності будь-якої країни. Світовий попит на воду значно зріс через економічний розвиток, зміну клімату та зростання населення [1]. Зі збільшенням кількості населення зростає потреба у воді для сільського господарства, виробництва продуктів харчування та побутового використання.

Використання Інтернету речей (IoT) та ІКТ може допомогти зберегти наявні водні ресурси.

Приблизно сорок відсотків населення світу проживає в регіонах, що зазнають помірного або сильного дефіциту води [1]. Дві третини світового населення, а це близько семи мільярдів людей, найімовірніше мешкають у таких регіонах. Запаси прісної води у світі зменшуються через забруднення, тоді як її використання зросло у шість разів за останнє століття, а це більше, ніж у два рази перевищує темпи зростання населення.

Масштаби забруднення води стають ще очевиднішими, якщо врахувати, що 70% промислових відходів та 90% стічних вод скидаються без очищення, що призводить до забруднення джерел водопостачання [2]. Вплив зміни клімату на водні ресурси може негативно вплинути на всі сектори економіки [3], зокрема:

- туризм;
- сільське господарство;
- транспорт;
- охорону здоров'я;
- промисловість;
- лісове господарство;

– рибальство тощо.

Наприклад, у Нігерії майже кожен міський регіон стикається з нестачею води. Громадське водопостачання перебоїсте, ненадійне або зовсім відсутнє, що змушує людей використовувати небезпечні альтернативні джерела води, які можуть спричиняти хвороби, що передаються через воду, зокрема, дизентерію та черевний тиф [4].

У Південній Африці, зокрема у Західному Кейпі, панує напівпосушливий клімат. Прогнози зміни клімату вказують на подальше загострення водного дефіциту, спричинене зростанням температури, випаровуванням та частішими посухами [5].

Зростання попиту на воду для побутових і промислових потреб лише посилює навантаження на обмежені водні ресурси.

«Розумні» системи та «розумні міста» застосовують IoT для підвищення ефективності міської інфраструктури, зокрема за допомогою інтелектуальних водних систем. Було проведено чимало досліджень, присвячених «розумним» технологіям водопостачання, однак існує потреба у аналізі сучасних досліджень, що використовують ІКТ для розробки високоефективних інтелектуальних застосунків водопостачання.

Результати аналізу [1] показують, що дослідники та виробники «розумних» систем у сфері водопостачання використовують:

- мікроконтролери;
- вбудовані мови програмування;
- сенсори;
- комунікаційні модулі;
- протоколи для створення IoT-пристроїв та систем.

Інтеграція технологій 3D-друку та сонячної енергії в IoT-орієнтовані «розумні» застосунки водопостачання є революційним рішенням, яке може підвищити стійкість таких систем.

1.2 Роль ІКТ та ІоТ у збереженні водних ресурсів

Інтернет речей та (ІКТ) можуть допомогти оптимізувати використання води та зменшити її витрати. «Розумні міста» вже активно використовують ІоТ для підвищення ефективності міської інфраструктури [6].

Більшість визначень «розумних міст» ґрунтуються на ключовій ролі ІКТ. Наприклад, автори [7] описують «розумні міста» як міські території, що інтегрують передові ІКТ, зокрема, «розумні» лічильники, смартфони, мобільні мережі, «розумні» сенсори та технології зберігання даних.

Завдяки підключенню пристроїв з'являються нові екосистеми збору, аналізу та поширення даних у різних сферах [6]. «Розумне місто» не лише інтегрує, а й відстежує стан кожної важливої інфраструктури [8].

Основна мета створення «розумних міст» – це захищена інтеграція різних ІКТ-рішень для ефективного управління міськими ресурсами. Існуючі визначення «розумного міста» підкреслюють важливість інтегрованих інформаційних систем, що забезпечують інноваційні послуги в сферах [9]:

- «розумні» будівлі;
- транспорт;
- громадська безпека;
- електронна комерція;
- енергетика;
- освіта;
- охорона здоров'я;
- екологічний моніторинг тощо.

«Розумний» екологічний моніторинг допомагає визначати коротко та довгострокові показники стану довкілля, наприклад витік або нераціональне використання води [10].

У сучасній науковій літературі поняття «розумної» системи водопостачання набуває зростаючої популярності у сфері міського управління водопостачанням. Однак дослідники у цій галузі використовують різні

терміни. Для кращого розуміння концепції в таблиці 1.1 подано визначення «розумних» систем водопостачання.

Таблиця 1.1 – Різні визначення «розумних» систем управління водними ресурсами [1]

Джерело	«Розумні» визначення води
[11]	Інноваційна «розумна» система водопостачання, яка інтегрує ІКТ у водопровідну мережу.
[12]	«Розумна» водопровідна мережа інтегруватиме «розумні» лічильники, «розумні» насоси та «розумні» клапани.
[13]	«Розумна» мережа водопостачання заснована на IoT та архітектурі системи «розумного» водопостачання.
[14]	«Розумна» мережа водопостачання інтегрує ІКТ у систему розподілу води.
[15]	«Розумна» система водопостачання використовує компоненти, керовані даними, для допомоги в експлуатації та управлінні фізичною мережею трубопроводів.
[16]	«Розумна» система водопостачання демонструє різні способи, як технології, програмне забезпечення та проміжне програмне забезпечення підвищують переваги даних інтелектуального вимірювання для зацікавлених сторін.
[17]	«Розумна» система водопостачання інтегрує «розумні» лічильники, «розумні» клапани, засоби передачі даних, об'єднання даних, управління даними та інструменти аналізу.
[18]	«Розумне» управління водними ресурсами відрізняється від традиційного методу управління водними ресурсами, оскільки воно об'єднує ІКТ та технології управління водними ресурсами.

У «розумних» системах водопостачання прогрес може бути досягнутий за рахунок «розумного» обліку водопостачання. «Розумний» облік водопостачання містить два основні компоненти:

- лічильники, що використовують сучасні технології для збору даних про споживання води;
- комунікаційні системи, що можуть збирати та передавати інформацію про використання води в режимі реального часу [19].

«Розумні» лічильники водопостачання можуть передавати зібрану інформацію широкій аудиторії [20], зокрема:

- споживачам;
- керуючим компаніям;
- адміністративним органам.

Наприклад, автори [1] підкреслюють користь «розумних» лічильників у виявленні витоків води та їх швидкому усуненні.

Автори [21] повідомляють, що після встановлення «розумних» лічильників водопостачання та посиленого моніторингу з боку працівників водопостачальних компаній у місті Аліканте (Іспанія) значно зросло виявлення несанкціонованого використання води. Згідно з їхнім звітом, крадіжки води зменшилися на 80% після застосування інформаційної системи.

В [22] зазначено, що «розумні» лічильники водопостачання можуть приносити екологічні вигоди, наприклад, зменшення вуглецевого сліду систем водопостачання завдяки економії води.

1.3 Аналіз методів проектування «розумних» застосунків водопостачання

Автори [23] розробили, відкалібрували та впровадили «розумну» систему моніторингу якості води, яка вимірює рівень води та каламутність кожні дві години. Базована на IoT система моніторингу якості води з 3D-друкованими компонентами була живлена виключно від фотогальванічної системи протягом

двох місяців. Система моніторингу якості води складається з чотирьох компонентів: енергія, моніторинг, час і зв'язок. Для визначення оптимальної частоти моніторингу було обчислено споживання електроенергії системою в режимах роботи, передачі даних і в режимі очікування. Запропонована система показує успішну інтеграцію IoT з 3D-друком, низьковартісними сенсорами та мікрокомп'ютерами. Крім того, дослідження показало великий потенціал використання сонячної енергії як основного джерела енергії для роботи низьковольтних систем моніторингу якості води в тропічних країнах.

Дослідники [24] запропонували архітектуру безпеки для «розумного» управління водними ресурсами, яка забезпечить безпечний запуск, оновлення програмного забезпечення та зв'язок. А в [25] запропоновано систему моніторингу якості води на основі IoT, яка складається з:

- електронної плати;
- Wi-Fi модуля;
- сенсорів;
- комп'ютера.

Система використовує «Things Speak» для збору п'яти параметрів води з різних сенсорів:

- рівень води;
- рН води;
- каламутність;
- температуру;
- провідність.

Система вимагає менше часу і витрат для спостереження якості води в резервуарі.

Автори [26] розробили систему моніторингу споживання води в домашніх господарствах. Система моніторить процеси споживання води окремими особами, при цьому час і кількість води, спожитої кожним приладом у домогосподарстві, реєструється віддалено, і дані зберігаються в базі даних. Це

локальна система бази даних, яка надає негайні практичні поради щодо економії води і класифікує поведінку споживання води цією особою.

В [27] подано дослідження, в якому використовуються Raspberry Pi і Arduino для моніторингу і прогнозування споживання води в домогосподарствах через Інтернет. Швидкість потоку води вимірюється за допомогою витратоміра на основі сенсора ефекту Холла. Мікроконтролер Arduino підключений до витратоміра, збирає та передає дані на Raspberry Pi, мікрокомп'ютер. Дані потім завантажуються Raspberry Pi в хмарну інфраструктуру, де формується база даних. Веб інтерфейс показує користувачам та постачальникам води щоденне споживання води. Управління витоками, управління попитом і управління активами водопостачальної системи також покриті в цьому дослідженні.

Дослідники [28] запропонували систему для вимірювання витрат води, яка використовує недороге IoT-обладнання та спеціально розроблену мобільну програму. Метод дає змогу як домашнім, так і промисловим споживачам води проводити зчитування показів лічильників і оновлювати базу даних для виставлення рахунків і оплат через звичайні смартфони. Запропонована система долає недоліки деяких «розумних» лічильників, наприклад, маніпуляції з передплаченими лічильниками води, які часто залишаються непоміченими, оскільки передплачені лічильники є автономними пристроями. Маніпуляції або несанкціоноване поповнення смарткарт передплачених лічильників здійснюються за допомогою шкідливого програмного забезпечення.

Дослідження [29] запропонувало незалежну систему, яка могла б моніторити рівень води та припиняти подачу води в бак, коли він наповниться. Система сервер «розумного» дому отримує сигнал від давачів рівня води, розміщених у баку. Потім вона вимикає подачу води і сповіщає користувача через мобільний телефон.

Автори [30] запропонували «розумне» рішення для споживання води з використанням давача швидкості потоку води та інтерфейсу з мікроконтролером Node MCU, вбудованим з кодом Arduino. Для кодування

Arduino використовується програмне забезпечення Arduino IDE для визначення швидкості потоку води, виведення результату на серійну консоль і передачі зібраних даних в хмару, де споживачі можуть їх моніторити.

Дослідники [31] запропонували рішення для «розумного» управління водою в домогосподарствах, яке моніторить воду на предмет основних стандартів якості. Проект допоможе спостерігачам за водними ресурсами вживати необхідних заходів, якщо рівень води знизиться нижче певного порогу. Проект використовує в основному давач каламутності та ультразвуковий давач рівня води. Давачі каламутності моніторять основні характеристики якості води, а ультразвуковий давач рівня води постійно контролює рівень води. Дані передаються користувачам через хмару.

Автори [32] розробили систему моніторингу споживання води та сповіщень на основі IoT-хмари «Ubidots». Система призначена для моніторингу споживання води в домогосподарствах щодня, щотижня та щорічно в режимі реального часу за допомогою мобільних пристроїв. Вона відображає дані за допомогою панелі управління «Ubidots», і коли дані перевищують ліміт, надісилається сповіщення користувачеві.

В [33] запропоновано інформаційно-технологічне рішення для:

- вимірювання споживання води;
- виявлення витоків;
- перерв у водопостачанні.

Це інформаційно-технологічне рішення інформує користувачів про проблеми з використанням води. Запропоноване рішення також може вимкнути подачу води, щоб запобігти витокам. Дані, зібрані давачами, стають доступними для пристроїв і користувачів через проміжне програмне забезпечення IoT. Яке використовує архітектуру Publish/Subscribe та протокол. Це програмне забезпечення зберігає, відображає та передає дані іншим IoT-пристроєм, які можуть виконувати автоматичні дії на основі даних сенсорів.

В [34] запропоновано інноваційне недороге «розумне» рішення, яке може прогнозувати споживання води для побутових потреб. Система моніторингу

води інтегрується з концепцією IoT. Давач витрат води підключається до мікроконтролера NodeMCU 8266. Кожна подія в процесі водопостачання передається до елемента, який називається «словник активностей» у хмарному сховищі. «Словник активностей» аналізує дані, зібрані «розумною» системою водопостачання, і ранжує кожну активність за категорією від найбільшого до найменшого використання води. Онлайн-портал дає користувачам можливість переглядати витрати води. Запропонована система може повідомляти користувачів про їхнє щоденне споживання води для кожної активності в домогосподарстві в режимі реального часу, наприклад, для пральних машин, умивальників і душів. Система розроблена і очікується, що вона правильно передбачатиме активності споживання води. Важливість використання системи полягає в підвищенні індивідуальної обізнаності щодо збереження води для забезпечення сталого використання водних ресурсів.

Автори [35] розробили недорогу «розумну» систему дистанційного моніторингу на основі IoT. Система контролює швидкість потоку води для вирішення проблем водопостачання а також:

- розподіляє рівні обсяги води на основі географічних даних;
- щільності населення;
- якості води.

Arduino збирає дані з давачів, а потім передає їх на Raspberry Pi, яка контролює потік води, змінюючи положення крокового мотора, встановленого на валу вручну керованого контрольного клапана. Кінцеві користувачі можуть отримати доступ до веб системи автоматичного зчитування показів лічильника. Користувачі сплачують тільки за використану воду, що зменшує кількість скарг. Дослідники [36] зосередилися на використанні води в великих комплексах. Вони запропонували повністю автоматизовану систему, здатну виконувати завдання:

- розподіл;
- моніторинг;
- виставлення рахунків.

Завдяки впровадженню системи виставлення рахунків за індивідуальне споживання води, втрати води повністю контролюються. Це економічно ефективна система, що дає змогу заощаджувати воду та фінанси для користувача. Періодично надсилаються сповіщення про споживання води. Система допомагає забезпечити захист майбутніх поколінь від водного дефіциту.

У [37] запропоновано «розумну» систему для домашніх секторів та великих сільськогосподарських полів, яка є технічним рішенням на основі IoT для управління водними ресурсами, що інтегрує різні давачі, хмарне сховище тощо. Окрім методів прийняття рішень, наприклад, автоматичне відключення живлення, система надсилає відповідні сповіщення на смартфони користувачів, коли спостерігається надмірне використання води. Тому корисно віддалено моніторити рівень води в ґрунті та водяних баках. Це «розумний» підхід завдяки механізму сповіщення системи та надійним діагностичним можливостям. Запропонована система розроблена для полегшення моніторингу рівня води для користувачів, роблячи її зручнішою для використання.

Автор [38] зосередився на факторах, які в сукупності мають значний вплив на споживання води в домогосподарствах. Витрати води, в основному, викликаються неакуратним використанням, переповненням верхніх резервуарів і витокami води в домогосподарствах. Їхня система “Smart Water Buddy” використовує IoT-пристрої для моніторингу процесів споживання води, виявлення витоків води та аномального використання за допомогою машинного навчання, що допомагає оптимізувати використання води.

Дослідники [39] вважають, що для того, щоб люди залишались здоровими, їм потрібно пити достатньо води в правильних кількостях. Однак багато хто з людей стикається з труднощами через насичений графік або через брак чистої води. Для того, щоб допомогти користувачам управляти щоденними потребами у воді та забезпечити їх чистою водою, було запропоновано IoT-пляшку «SmartOne». Пляшка складається з мобільного

застосунку та апаратного забезпечення, де мобільний застосунок служить інтерфейсом між користувачем та пляшкою.

Автори [40] описують систему моніторингу, яка використовує дані про споживання води в режимі реального часу від лічильників води в будинках для корисних висновків. Для споживачів створено ефективну панель управління завдяки поєднанню:

- IoT;
- платформи хмарних обчислень Thingspeak;
- Android Studio.

Метою запропонованої моделі є виховання почуття відповідальності у громадян шляхом регулярного відстеження використання води за допомогою графіків, що показують місячні витрати водопостачання, та надання рекомендацій у вигляді невеликого Android-застосунку на телефонах споживачів. Це допомагає користувачам дізнатися, де вода витрачається і споживається найбільше, що дає їм можливість приймати проактивні рішення та економити водні ресурси.

У [41] запропоновано «розумний» лічильник води на основі IoT і хмарних обчислень з алгоритмами машинного навчання. Система може використовуватися для розрізнення надмірного і нормального використання води в домогосподарствах, промисловості та секторах, які споживають великі обсяги води. Завдяки легкості моніторингу та візуалізації даних, система «розумних» лічильників води може використовуватися для виявлення витоків води та надмірного споживання води. Запропонована архітектура без серверів може бути легко масштабована.

В [42] запропоновано систему для генерування автентичних даних про патерни використання води, використовуючи машинне навчання для виявлення нормального або надмірного потоку води через трубу. Архітектуру можна масштабувати для додаткових функціональностей. Зібрані дані завжди зашифровані на всіх етапах передавання для конфіденційності та безпеки патернів використання води. Система є зручною для користувачів, з

впровадженням тарифів на воду, що робить осіб відповідальними за їхнє використання води.

Автор [43] запропонував систему, яка може допомогти виявляти крадіжки води та проблеми з витоками, з якими стикається уряд. Система буде моніторити витoki води в режимі реального часу та давати можливість відповідним органам вживати необхідні заходи для зменшення втрат води. Запропонований підхід пропонує концепцію та визначення бездротових мережевих технологій, а давачі потоку допомагають зупиняти витoki води та крадіжки. А автори [44] запропонували модель на основі IoT для «розумного» збору дощової води. Модель складається зі структури з поділом, яка розділяє два баки в співвідношенні 60–40%. Для визначення, чи йде дощ, на верхній частині структури встановлений давач, що виявляє дощ. Давач рН визначає значення рН дощової води, і якщо воно більше за 5, серво мотор, встановлений на шарнірі, обертається за годинниковою стрілкою, щоб заповнити бак з правого боку. Якщо рН води менше 5, шарнір обертається проти годинникової стрілки, щоб заповнити бак з лівого боку. Кислотну воду з рН менше 5 відокремлюють від питної води з рН 5 або більше за допомогою цього процесу. Все це стало можливим завдяки модулю Wi-Fi NodeMCU.

В [45] запропонували «розумну» систему на основі бездротової сенсорної мережі, яка виявляє витoki води з точністю 75%, використовуючи алгоритм автономного навчання. Для цього було використано мікроконтролер ESP32, який має тридцять два порти загального призначення, дванадцять аналогових портів і енергетичну ефективність. LoRa було реалізовано за допомогою модуля RMF95W, а агрегаційний вузол був встановлений з використанням Narrowband-Internet of Things (NB-IoT). Для архітектури та низького споживання енергії був обраний протокол MQTT.

Автори [46] створили «розумну» систему для вимірювання споживання води з високим рівнем декуплінгу та інтеграції різних технологій, що дає змогу здійснювати візуалізацію споживання води в режимі реального часу. Система збирає дані через «розумний» лічильник, які обробляються локальним сервером

шлюзом, а потім регулярно надсилаються в хмару для аналізу алгоритмом виявлення витоків і доступні через веб інтерфейс. Згідно опублікованими авторами даними, точність, відгук і точність системи для виявлення витоків становлять 100%, а також відзначено, що її похибка становить 4,63%.

У [47] запропоновано «розумний» IoT-лічильник води, який може працювати десять років, використовуючи мережу дальнього радіусу дії LoRaWAN. Система використовує мікроконтролер Silicon laboratory, прошивка якого керує енергетичними режимами та переходами між ними залежно від вимог завдання. У комплект входить низькочастотний радіочастотний трансивер LoRa Technology SX1272 з діапазоном 860–1000 МГц. Використано радіочастотний перемикач для вибору між радіочастотною комунікацією, інтерфейсом споживача і LoRa-комунікаціями на великі відстані через шлюз LoRa у дворангових радіочастотних мережах. Автори відзначають, що використання пристрою в африканських муніципалітетах є здійсненним, оскільки він може прослужити більше ніж десять років.

Автори [48] запропонували систему «розумного» лічильника води, яка використовує IoT-платформу для надання звітів в режимі реального часу щодо споживання води та виставлення рахунків. Система може автоматично збирати дані і завантажувати їх, коли лічильник не використовується. Для зв'язку фізичного прототипу, Google Sheets і мобільного застосунка було використано Google Application Scripting (GAS). MATLAB Curve Fitting Tool використовується для створення каліброваного рівняння для визначення витрати води та споживання.

У [49] розроблено прототип абстракції мережі розподілу води. Мережа має сенсори, встановлені для вимірювання бажаних фізичних величин, зокрема:

- витрати води;
- каламутність;
- рівень рН.

Створюється сенсорна мережа для передачі показників на платформу Firebase. Використовується архітектура IoT-тестової платформи для повного

з'єднання всіх IoT-модулів. Запропонована система дає змогу здійснювати моніторинг якості води, вимірювати споживання та виявляти витoki в «розумних» будинках, надаючи платформу моніторингу та акцент на обізнаність як для користувачів, так і для адміністраторів.

Автори [50] запропонували систему «розумного» лічильника води на основі LoRaWAN для університетських будівель. Система виявляла години пікового споживання води та витoki води. Аналіз частотного та часових доменів виявив шаблони використання та рівні витоків для кожної локації. Система надає користувачам дані в режимі реального часу та дає можливість знижувати витрати, забезпечуючи ефективніше витрачання ресурсів.

1.4 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи описано предметну область водопостачання. Висвітлено роль ІКТ та IoT у збереженні водних ресурсів. Проаналізовано методи проектування «розумних» застосунків водопостачання.

РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ІНСТРУМЕНТИ СУПРОВОДУ ПРОЦЕСІВ «РОЗУМНОГО» ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Інтернет речей (IoT)

IoT загалом вважається важливою платформою для досягнення сталого розвитку «розумних міст» [51]. Кевін Ештон вперше запропонував термін IoT у 1999 році [52]. Початково він був пов'язаний з управлінням ланцюгами постачання. Однак із розвитком технологій значення терміну «Речі» змінилося. Основною метою створення комп'ютера, який здатний отримувати інформацію без втручання людини, залишається. Це фундаментальна трансформація існуючого Інтернету в мережу взаємопов'язаних об'єктів, що збирають дані з навколишнього середовища та взаємодіють з фізичним світом. Крім того, він використовує сучасні інтернет-стандарти для [53]:

- надання послуг з передачі даних;
- застосунків;
- аналітики та комунікацій.

Простими словами, IoT – це коли повсякденні фізичні об'єкти оснащуються можливостями сенсора, обробки даних і комунікації, що дає їм можливість підключатися до Інтернету. Ці фізичні об'єкти, що взаємодіють з цифровим світом, генерують дані та інформацію, які раніше були неможливими [54].

Дослідження [1] показує різні IoT системи «розумного» управління водопостачанням, які можна використовувати для управління водними ресурсами як у приватному, так і в публічному секторах. Використання Інтернету речей (IoT) є актуальним для систем «розумного» водопостачання, оскільки дає змогу забезпечити ефективний моніторинг, контроль та оптимізацію процесів споживання води в режимі реального часу, що сприяє значному підвищенню ефективності управління водними ресурсами та виявленню витоків [55].

В таблиці 2.1 подано інформацію про наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моніторингу якості води.

Таблиця 2.1 – Наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моніторингу якості води

Джерело	Рішення
[23]	«Розумна» система моніторингу якості води для плантації пальмової олії, яка використовує сонячну енергію як основне джерело енергії.
[35]	«Розумна» система призначена для підтримки якості води, розподілу однакової кількості води для кожного споживача, підтримки рівня води в баку та зменшення втрат води.
[39]	«Розумна» пляшка для води «SmartOne» розроблена, щоб допомогти користувачам пити якісну воду та регулярно підтримувати її споживання для належного функціонування органів людини.
[44]	Збирає та зберігає дані щодо якості дорогоцінної дощової води в районах з невеликими будинками.

Інтернет речей забезпечує постійний моніторинг параметрів водопостачання, як от тиск, температура та потік, що дає можливість оперативно реагувати на будь-які відхилення [56]. Користувачі ж, у свою чергу, отримують доступ до детальної інформації про власне споживання води через мобільні застосунки або веб-інтерфейси. Це не тільки підвищує прозорість, але й сприяє свідомому споживанню, дозволяючи оптимізувати витрати та раціональніше використовувати воду. В таблиці 2.2 подано інформацію про наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моніторингу процесів споживання води.

Таблиця 2.2 – Наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моніторингу процесів споживання води

Джерело	Рішення
[26]	Кількість води, спожитої кожним побутовим приладом, реєструється без проводів разом із точним часом споживання та зберігається в центральній базі даних. На звички людей до споживання води можуть вплинути обізнаність про споживання води в режимі реального часу, оперативні практичні поради щодо заходів щодо заощадження води та індивідуальна класифікація поведінки у споживанні води.
[27]	Дані про споживання води в режимі реального часу, щоб допомогти клієнтам економити воду за допомогою моніторингу активів у режимі реального часу, моніторингу якості води та контролю тиску води.
[30]	Запропонована система розраховує швидкість потоку води та її кількість, споживану домогосподарями, і надсилає це в хмару для моніторингу споживання води.
[48]	«Розумний» лічильник води, який надсилає оновлення про витрату води, споживання та щомісячні рахунки через мобільний застосунок та SMS-сервіс.
[32]	Система моніторингу процесів споживання води
[28]	Система знижує витрати на комунальні послуги, обробляючи показання лічильників і виставляючи рахунки за розподіл води в містах.

Застосування автоматизації, що є невід’ємною частиною IoT-рішень, дає системам «розумного» водопостачання можливість функціонувати з мінімальним втручанням людини. Мікроконтролери можуть автоматично

реагувати на зміни даних, наприклад, перекривати подачу води у разі виявлення витоку або регулювати тиск у відповідь на пікові навантаження. Це не тільки підвищує швидкість реагування на позаштатні ситуації, але й знижує ризик людської помилки, оптимізуючи операційні процеси та забезпечуючи стабільність та надійність водопостачання. В таблиці 2.3 подано інформацію про наукові публікації щодо автоматизації «розумних» IoT-систем моніторингу процесів споживання води.

Таблиця 2.3 – Наукові публікації щодо автоматизації «розумних» IoT-систем моніторингу процесів споживання води

Джерело	Рішення
[29]	Контролює рівень води та зупиняє потік води в баку, коли він заповнений.
[31]	«Розумна» система надає користувачам можливість дистанційно контролювати та керувати системами управління водними ресурсами за допомогою смартфона.
[37]	«Розумна» система віддалено контролює рівень води в резервуарі та ґрунті. Потім надсилає сповіщення на смартфони відповідних користувачів у разі надмірного споживання води.

Використання IoT у системах «розумного» водопостачання дає змогу значно підвищити ефективність управління водними ресурсами. Завдяки сенсорам та лічильникам, які передають дані в режимі реального часу, оператори можуть швидко виявляти витoki, несанкціоноване споживання або аномалії в роботі мережі. Це допомагає мінімізувати втрати води, які є значною проблемою для комунальних підприємств, і, як наслідок, знижувати операційні витрати та економити цінний ресурс. В таблиці 2.4 подано інформацію про наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моніторингу процесів

споживання води. В таблиці 2.4 подано інформацію про наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моніторингу втрат води.

Таблиця 2.4 – Наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моніторингу втрат води

Джерело	Рішення
[33]	Виявляє витоки води, запобігає природним витратам води та керує витратами води.
[34]	Підвищує індивідуальну обізнаність щодо економії води для стійких водних ресурсів.
[36]	Втрати води контролюються, що призводить до економічно ефективної системи економії як води, так і грошей.
[40]	«Розумна» система використовує дані з побутових лічильників води, які збираються в режимі реального часу, для прийняття відповідних рішень щодо зменшення втрат в системі водопостачання.
[43]	Система виявляє крадіжки води та витоки води в трубопроводі.

Збір та аналіз великих обсягів даних, які надають IoT-пристрої, дає змогу не лише виявляти поточні проблеми, але й прогнозувати потенційні несправності обладнання чи зношення інфраструктури. Це дозволяє перейти від реактивного до проактивного обслуговування, проводячи ремонтні роботи до того, як виникнуть серйозні аварії, що значно знижує ризики та довгострокові витрати на експлуатацію системи водопостачання. В таблиці 2.5 подано інформацію про наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моделювання та прогнозування процесів водопостачання.

Таблиця 2.5 – Наукові публікації щодо «розумних» IoT-систем моделювання та прогнозування процесів водопостачання

Джерело	Рішення
[38]	Модель виявлення незвичайного домашнього використання води.
[41]	Використовує машинне навчання для виявлення надмірних витрат води.
[42]	Створення шаблону використання води після впровадження, моніторинг моделі використання міських водних ресурсів, система оповіщення, безпечна та надійна система, зручна для користувача, пропозиція тарифу на воду, щоб люди несли відповідальність за використання води, а також архітектура, яка може надати простір для додаткових функцій і обчислень.
[45]	Система використовує машинне навчання для моніторингу систем розподілу води, зокрема, іригаційні системи, і виявлення в режимі реального часу витоків і їх розташування в трубах.
[50]	Система визначає моделі споживання води, кількісно визначає втрати води та їх розташування.

Моделювання процесів у системах «розумного» водопостачання відіграє критично важливу роль для ефективного планування та оптимізації. Створення цифрових моделей мереж водопостачання дає змогу симулювати різні сценарії, як от зміни попиту, вплив нових підключень або виникнення аварійних ситуацій. Це дає можливість прогнозувати поведінку систем, виявляти потенційні «вузькі місця», оптимізувати розміщення датчиків та виконавчих пристроїв, а також розробляти ефективніші стратегії управління водними ресурсами до їх фізичного впровадження. Таким чином, моделювання значно знижує ризики та витрати, пов'язані з розгортанням та експлуатацією великомасштабних IoT-систем.

Дослідження також показали, що деякі автори використовували алгоритми машинного навчання для моніторингу використання води, виявлення витоків води та аномального використання води. Машинне навчання може відігравати важливу роль у «розумних» застосунках водопостачання. Наразі деякі алгоритми машинного навчання використовуються в управлінні «розумними» ресурсами водопостачання [57].

В таблиці 2.6 подано інформацію про наукові публікації щодо різнотипових «розумних» IoT-систем водопостачання.

Таблиця 2.6 – Наукові публікації щодо різнотипових «розумних» IoT-систем водопостачання

Джерело	Рішення
[46]	Система охоплює п'ять аспектів споживання води: вимірювання, локальний процес запису, безпека пристрою, зберігання та візуалізація, а також виявлення витоків.
[47]	«Розумний» лічильник води з 10-річним терміном служби батареї, який є енергоефективним для муніципального середовища в Африці.
[49]	Виявлення витоків в «розумних» будинках, вимірювання споживання, моніторинг якості води.

Очікується, що 5G мобільні мережі ефективно підтримуватимуть велику кількість пристроїв і нові послуги, включно з комунікаціями типу M2M, покращену мобільну широкосмугову передачу (eMBB), критичні комунікації та операції мережі. Наприклад, очікується, що мобільні мережі 5G для IoT ефективно підтримуватимуть базові вимоги [58], зокрема:

- високу пропускну здатність;
- високу масштабованість для підключення великої кількості пристроїв;
- низьку затримку при передачі даних;

- ефективний метод енергоспоживання;
- універсальні рішення для підключення користувачів.

Для майбутнього проектування IoT «розумних» застосунків водопостачання рекомендується використовувати 5G мобільні мережі. Мобільна мережа 5G має на меті подолати обмеження попередніх стільникових технологій і може стати ключовим елементом IoT у майбутньому.

Дослідження показало успішну інтеграцію IoT-базованих «розумних» застосунків водопостачання з тривимірним (3D) друком. Оскільки використовуються різні датчики для моніторингу різних параметрів, 3D друк допомагає зменшити потенційні пошкодження систем, які можуть бути спричинені негативними впливами навколишнього середовища, як от пил, вітер та дощ [59]. Крім того, переваги технології 3D друку, наприклад, швидке виготовлення, висока точність і низька вартість, були продемонстровані авторами [23].

Інтеграція 3D друку з IoT-базованими «розумними» технологіями водопостачання відкриває нові перспективи для низькоцінових, кастомізованих рішень і швидкого прототипування пристроїв та датчиків. Подальші дослідження в інтеграції 3D друку для застосунків водопостачання можуть бути важливими, оскільки 3D друк зменшує негативні впливи навколишнього середовища, які можуть потенційно пошкодити систему.

Аналогічно, інтеграція фотоелектричної сонячної енергії в IoT-базовані «розумні» технології водопостачання є революційними, оскільки вони можуть підвищити сталий розвиток систем та зменшити залежність від традиційних джерел енергії. Фотоелектрична система є перевіреною та надійною технологією, сонячні модулі доступні від широкого кола постачальників. Термін служби модуля зазвичай гарантується на принаймні двадцять років [60], в той час як термін служби свинцево-кислотних батарей складає 4–6 років [23]. Майбутні дослідження можуть бути спрямовані на розробку інноваційних сонячних IoT-базованих «розумних» технологій водопостачання та покращення

їх енергоефективності для забезпечення широкого впровадження, особливо в країнах, що розвиваються.

2.2 Мікроконтролери в «розумних» системах водопостачання

Мікроконтролер у системі «розумного» водопостачання є ключовим елементом, що виконує роль «мозку» всієї системи, керуючи її функціоналом та збираючи дані. Він інтегрований у блок керування, який взаємодіє з різними компонентами вимірювального рівня. Зокрема, мікроконтролер отримує дані від імпульсного лічильника води, що дає йому можливість відстежувати обсяг спожитої води. На основі цих даних, а також інструкцій, отриманих з верхніх шарів системи, він може керувати кульовим краном, відкриваючи або закриваючи подачу води.

Окрім безпосереднього керування компонентами системи «розумного» водопостачання, мікроконтролер також відповідає за обробку зібраних даних та їх передачу до комунікаційного рівня. Він може агрегувати інформацію про споживання води, виявляти аномалії, як от витoki, або фіксувати несанкціоноване використання, а потім через API взаємодіяти з сервером та хмарною базою даних. Це дає користувачам змогу моніторити своє водоспоживання через комп'ютер або смартфон, а також отримувати повідомлення про будь-які проблеми. Таким чином, мікроконтролер забезпечує інтелектуальну взаємодію між фізичними давачами та виконавчими механізмами, а також хмарними сервісами та кінцевими користувачами.

В «розумних» системах водопостачання використовується обширний перелік різнотипових мікроконтролерів та мов програмування. Зокрема в таблиці 2.7 подано перелік вбудованих мов програмування мікроконтролерів для систем «розумного» водопостачання на базі Raspberry Pi та Arduino Uno.

Таблиця 2.7 – Мікроконтролери Raspberry Pi та Arduino і вбудовані мови програмування для систем «розумного» водопостачання

Мікроконтролер	Вбудована мова програмування	Джерело
Raspberry Pi Zero	MATLAB	[40]
Raspberry Pi, Arduino Uno	PYTHON, Arduino C	[35]
Модель Raspberry Pi Zero W	C Мова	[31]
Raspberry Pi, Arduino	X	[23]
Arduino Uno, Raspberry Pi	Python	[27]
Arduino UNO	Arduino C	[36]
Arduino UNO	Arduino IDE	[37]
Плати на основі Arduino	JavaScript і TypeScript	[50]
Arduino NodeMCU	C	[49]
Arduino Nano, Arduino UNO	Arduino C	[43]

Для програмування використовувалися різні вбудовані мови, як от Python, C, MATLAB, Arduino C, JavaScript і TypeScript тощо. В таблиці 2.8 подано перелік вбудованих мов програмування мікроконтролерів для систем «розумного» водопостачання на базі NodeMCU.

Таблиця 2.8 – Мікроконтролери NodeMCU та вбудовані мови програмування для систем «розумного» водопостачання

Мікроконтролер	Вбудована мова програмування	Джерело
1	2	3
NodeMCU	Код Arduino (Arduino IDE)	[30]
NodeMCU	LUA	[34]

Продовження таблиці 2.8

1	2	3
NodeMCU	мова C	[38]
NodeMCU	Arduino IDE	[39]
NodeMCU ESP8266	Сценарії Lua	[41]
NodeMCU ESP8266	Код Arduino (Arduino IDE)	[42]
NodeMCU V3 ESP8266	Сценарії Lua	[44]
NodeMCU ESP8266, Raspberry Pi	Python	[46]
NodeMCU ESP8266	Код Arduino (Arduino IDE), Kodular IDE	[48]
NodeMCU ESP8266, (Raspberry Pi як домашній сервер)	X	[29]

Для програмування використано різноманітні мови, на кшталт C, LUA, Arduino C, Python тощо. В таблиці 2.9 подано перелік вбудованих мов програмування для різнотипових мікроконтролерів у системах «розумного» водопостачання.

Таблиця 2.9 – Мікроконтролери NodeMCU та вбудовані мови програмування для систем «розумного» водопостачання

Мікроконтролер	Вбудована мова програмування	Джерело
1	2	3
ESP32	Машинне навчання, скрипт Python, бібліотека Paho Java MQTT	[45]
MSP 430	Arduino C	[33]
Silab EFM32	X	[47]
Intel Edison	Arduino IDE	[32]

Продовження таблиці 2.9

1	2	3
Wi-Fi шлюз	Visual Studio, сервер Microsoft SQL.	[26]
Електронний інтерфейсний модуль (EIM)	Android SDK і Java	[28]

Як видно з табл. 2.9 для програмування використано різні вбудовані мови, як от Python, Arduino C, Arduino IDE та Java.

2.3 Давачі та сенсори в «розумних» системах водопостачання

Сенсор – це вхідний пристрій, який генерує вихідні дані, що відповідають його входу. Термін «вхідний пристрій» означає, що сенсор є частиною більшої системи, яка надає вхідні дані ключовій контрольній системі, як от мікроконтролер або процесор [61]. Мікроконтролер – це програмований пристрій [62].

Сенсори – це пристрої, які виявляють та реагують на конкретні вхідні сигнали з фізичного світу. На вхід можуть подаватись:

- показники тиску;
- температури;
- інших типів навколишніх явищ.

Вихід – це сигнал, який перетворюється на зручний для читання формат або передається електронним шляхом через лінію зв'язку для сприйняття людьми [63]. Дані, згенеровані сенсорами, надсилаються на хмарний сервер через Інтернет, де вони аналізуються, обробляються та потім передаються на термінал для консультацій користувачів [64]. Сенсор – це детектор, який здатний сприймати та відслідковувати зміни в навколишньому середовищі і надсилати інформацію про ці зміни. Існують різні види сенсорів [1], зокрема:

- сенсори витрат води;

- ультразвукові сенсори;
- сенсори вимірювання мутності води;
- сенсори швидкості потоку;
- сенсори тиску;
- давачі температури;
- сенсори залишкового хлору;
- сенсори рН води;
- сенсори електричної провідності води;
- сенсори хлорофілу;
- сенсори вологості ґрунту.

Ці сенсори можуть бути встановлені на насосах або трубах для постійного моніторингу в режимі реального часу:

- витрат води;
- рівня води;
- температури;
- якості води тощо.

Крім того, використовувалися різні типи давачів: MPX5700 для вимірювання тиску, температури, швидкості потоку, витрат води, соленоїдні клапани, рівень води, ультразвукові давачі, турбідність, вологість ґрунту, YF-S201, рН, опади, тунельний магнітний резистор і давачі якості води. Варто зазначити, що використання низьковартісних давачів відкриває можливості для «розумних» рішень водопостачання в районах з обмеженими ресурсами, надаючи приймаючим рішенням дані в режимі реального часу щодо використання води, якості води та її розподілу.

2.4 Бездротові комунікаційні технології в «розумних» системах водопостачання

В таблиці 2.10 подано інформацію щодо використання комунікаційних WiFi модулів та протоколів в опублікованих результатах досліджень.

Таблиця 2.10 – WiFi модулі та протоколи систем «розумного» водопостачання

Модуль зв'язку	Протокол	Джерело
USB-ключ Wi-Fi	HTTP	[23]
Wi-Fi роутер	X	[26]
Wi-Fi або Bluetooth	WAP	[28]
Вбудований мікроконтролер Wi-Fi	HTTP	[30]
Вбудований Raspberry Pi Wi-Fi	HTTP	[35]
Вбудований Wi-Fi	HTTP	[42]
Вбудований Wi-Fi	HTTPS	[48]
Вбудований Wi-Fi	MQTP	[44]
Wifi вбудований MC	MQTT	[41]
Вбудований Wi-Fi	X	[49]

При цьому використовувалися HTTP та HTTPS, MQTT, X тощо. В таблиці 2.11 подано інформацію щодо використання різнотипових комунікаційних модулів та протоколів в опублікованих щодо систем «розумного» водопостачання результатах досліджень.

Таблиця 2.11 – Модулі зв'язку та протоколи систем «розумного» водопостачання

Модуль зв'язку	Протокол	Джерело
1	2	3
Ubidots	MQTT	[32]
CC2650	MQTT	[33]
ESP8266-12E	HTTP	[34]

Продовження таблиці 2.11

1	2	3
Arduino Ethernet Shield	HTTP	[37]
ESP8266	MQTT	[39]
Вбудований мікроконтролер	HTTP	[40]
Zigbee, LoRa	HTTP	[43]
Wi-Fi і Bluetooth Low Energy (BLE), LoRa	MQTT (NB-IoT)	[45]
РЧ-радіо для зв'язку CIU, модем LoRaWAN для передачі пакетів IoT	HTTP	[47]
LoRa, Sigfox, NB-IoT, LoRaWAN	MQTT	[50]

В інформаційних системах «розумного» водопостачання використовувалися комунікаційні модулі GSM/GPRS, Wi-Fi, Bluetooth, ESP8266, Raspberry Pi, Arduino Ethernet Shield, Zigbee, LoRa, Sigfox, NB-IoT та LoRaWAN тощо [1].

2.4.1 Технології бездротового зв'язку короткого радіусу дії

Існує декілька бездротових комунікаційних технологій з радіусом передачі від одного до п'ятсот метрів, які відносяться до категорії короткого радіусу. Зокрема, протоколи бездротового зв'язку короткого радіусу:

- Bluetooth;
- ZigBee;
- Wi-Fi.

Ці технології здебільшого використовуються в межах будівель через їх обмежений радіус дії. Детальнішу інформацію подано в [65].

ZigBee використовується в промисловому моніторингу та застосуваннях для «розумних» будинків [66]. Wi-Fi часто використовується в громадських

місцях для забезпечення мобільних пристроїв широкосмуговим підключенням до Інтернету з високими швидкостями передачі даних [67]. Мережі Wi-Fi можна легко інтегрувати з мікроконтролерами для віддаленого доступу, завантаження даних та моніторингу води з інших комп'ютерів [68].

2.4.2 Технології бездротового зв'язку великого радіусу дії

Для комунікації на великі відстані широко використовуються стільникові комунікаційні мережі. Існує п'ять поколінь стільникового зв'язку:

- 1G;
- 2G – наприклад, глобальна система мобільних комунікацій (GSM), загальна служба пакетного радіо (GPRS));
- 3G – наприклад, універсальна система мобільних телекомунікацій (UMTS);
- 4G – наприклад, технологія довгострокового розвитку (LTE);
- 5G – п'яте покоління [63].

Мережа 5G створена для задоволення вимог IoT для майбутніх «розумних» міст, пропонуючи високі швидкості передачі даних, низьку затримку для реальних застосунків і велику кількість підключених пристроїв [69]. Стільникові комунікаційні мережі мають широку зону покриття, що полегшує встановлення в віддалених місцях. Технології стільникового зв'язку також забезпечують двосторонню комунікацію. Міська інфраструктура водопостачання часто моніториться та контролюється за допомогою технологій 2G (GSM, GPRS) [70].

Крім того, існують інші мережі зв'язку довгого радіусу, які обіцяють вирішити проблеми, з якими стикаються комунікаційні технології в IoT-застосунках, зокрема мережі широкого покриття з низьким енергоспоживанням (LPWAN). Загалом, існує два типи LPWAN:

- ліцензовані;
- неліцензовані.

Ось огляд найбільш використовуваних на сьогодні технологій LPWAN для «розумного» водопостачання.

Неліцензовані LPWAN Технології неліцензованого LPWAN – це ті, які використовують неліцензовані спектральні ресурси в промислових, наукових і медичних (ISM) діапазонах. Провайдери неліцензованих LPWAN не повинні платити за ліцензування спектра, оскільки використовують неліцензований діапазон, що знижує вартість розгортання. Два основних конкуренти для неліцензованих LPWAN – це LoRa [71] і Sigfox, [72].

LoRa означає «довгий радіус». Це фізичний рівень LPWAN, створений і запатентований компанією Semtech, який модулює сигнали за допомогою техніки розширеного спектру [73]. LoRa використовує модуляцію chirp spread spectrum (CSS), яка розширює вузькосмуговий сигнал на більшу ширину каналу, що дає змогу досягти високої стійкості до перешкод, одночасно знижуючи відношення сигнал/шум та перешкоди (SINR), необхідне для правильного декодування даних на приймачі [74]. Фактор розширення CSS може варіюватися від семи до дванадцяти, що дає можливість змінювати швидкість передачі даних та знаходити компроміси між пропускнуою здатністю, надійністю зв'язку, покриттям або енергоспоживанням. Швидкість передачі даних для LoRa може коливатися від 50 біт/с до 300 кбіт/с в залежності від фактора розширення та ширини каналу [75]. Комунікаційний протокол на основі LoRa, відомий як LoRaWAN, використовує топологію «зірка до зірки», при якій пристрої-шлюзи передають повідомлення між кінцевими пристроями та мережевими серверами. LoRaWAN має три класи пристроїв (A, B і C) з різними можливостями. Пристрої класу A мають найменше споживання енергії і потребують тільки коротких зворотних зв'язків, а для зворотного зв'язку використовують ALOHA RA для передавання. Пристрої класу B призначені для застосувань, які вимагають більших вимог до зворотного зв'язку. Пристрої класу C постійно отримують слоти, що означає, що вони постійно слухають канал, окрім випадків, коли потрібно передавати. З усіх трьох класів LoRaWAN всі пристрої повинні бути сумісні з класом A [76]. «Розумні» технології

водопостачання, зокрема, сенсорні вузли та водяні лічильники, часто встановлюються в складних умовах і працюють здебільшого на батареях. LoRaWAN забезпечує низьке енергоспоживання. Термін служби батареї може тривати до десяти років, що дає цим пристроям можливість працювати якомога довше. Крім того, протокол LoRaWAN пропонує великі діапазони зв'язку (1–5 км в міських районах і до 15 км у сільських районах) та відмінну проникність для підземного зв'язку. Як результат, LoRaWAN відкриває великі можливості. Мережі LoRaWAN можуть використовуватися для різних «розумних» застосунків водопостачання, зокрема:

- моніторинг якості води;
- вимірювання;
- виявлення витоків [65].

Інше популярне рішення для неліцензованого LPWAN – це SigFox. SigFox пропонує використовувати технологію ультраширокої смуги (UNB) для передачі з шириною каналу всього 100 Гц для передачі дуже коротких пакетів. Технологія Sigfox дає можливість використовувати пристрої з низьким енергоспоживанням і забезпечує більше покриття, ніж LoRa, за нижчою вартістю передачі даних [77].

Коли Sigfox було вперше випущено, він підтримував лише зв'язок у напрямку «uplink», але з часом він став двосторонньою технологією з великим асиметричним зв'язком [78]. Однак зворотна передача може бути ініційована лише після «uplink»-передачі. Крім того, кількість «uplink»-повідомлень на день обмежена сто сорок, а кожне «uplink»-повідомлення може мати максимальний розмір корисного навантаження дванадцять байтів [73]. Через ці жорсткі обмеження та закриту бізнес-модель мережі [79] академічне середовище та промисловість почали віддавати перевагу конкуренту Sigfox – LoRaWAN, який вважається більш відкритим та гнучким.

Ліцензовані LPWAN – це технології LPWAN, які використовують ліцензовані спектральні ресурси. Два найбільш перспективних стандарти для ліцензованих LPWAN – це мобільні комунікації типу машин (LTE-M) і

вузькосмуговий IoT (NB-IoT). Ось короткий огляд двох ліцензованих технологій LPWAN для зв'язку на великі відстані.

LTE-M і існуючі стільникові мережі повністю сумісні [1]. Його можна розглядати як спрощену форму LTE, призначену для застосувань Інтернету речей, які потребують низького енергоспоживання та низької вартості пристроїв [80]. Технологія LTE-M підтримує мобільні випадки використання MTC та голосові передачі через мережі [81]. У зворотному зв'язку LTE-M використовується мульти-тонова одноканальна множинна частотна поділова мультиплексія (SC-FDMA), а в прямому зв'язку – ортогональна частотна поділова мультиплексія (OFDMA). Для зниження вартості апаратного забезпечення та складності LTE-M має ширину смуги пропускання 1,4 МГц і зазвичай підтримує напівдуплексні операції та одну антену для прийому. Повний дуплекс також дозволений. Для поліпшення продуктивності LTE-M щодо позиціонування, швидкості передачі даних, затримки та покриття голосового зв'язку були запропоновані нові функції для проектів Rel-14 та Rel-15 претього покоління 3GPP.

Вузькосмуговий IoT (NB-IoT) відомий як LTE Cat NB1 – це технологія LPWAN, яка співіснує з стільниковими мережами, зокрема LTE та GSM. У порівнянні з існуючими стільниковими мережами, NB-IoT має великий радіус зв'язку, довгий термін служби батареї – до 10 років, високу проникність і низькі швидкості передачі даних. NB-IoT використовує частотну смугу 200 кГц, що еквівалентно одному фізичному блоку ресурсу в передачі LTE та GSM [82].

З частотною смугою 200 кГц NB-IoT може працювати в трьох різних режимах:

- автономний режим – NB-IoT може підключатися до одного або декількох існуючих операторів GSM;
- режим захисної смуги – використовуються невикористовувані ресурси в захисній смузі спектра LTE;
- режим в смузі – використовуються ресурси в каналі LTE.

NB-IoT повторно використовує декілька функцій LTE та адаптує їх до потреб IoT-застосунків. Наприклад, NB-IoT використовує систему зв'язку LTE для трансляції дійсних повідомлень всім кінцевим пристроям (ED) в одній комірці.

Швидкість передачі даних для зв'язку в напрямку «uplink» і «downlink» становить 200 кбіт/с та 20 кбіт/с відповідно [83]. Кожне повідомлення має максимальний розмір корисного навантаження 1600 байт. Для передачі даних використовується модуляція QPSK. Точніше, для зворотного зв'язку використовується OFDMA, а для «uplink»-передачі застосовується модуляція SC-FDMA. NB-IoT має декілька переваг для «розумних» застосувань для потреб водопостачання, зокрема низьке енергоспоживання, великий радіус зв'язку та відмінну проникність. NB-IoT продемонстрував свої переваги в деяких «розумних» застосунках водопостачання. Huawei та Vodafone використовували NB-IoT для передачі даних на кінцеві пристрої, які були встановлені на водомір [76]. Нарешті, NB-IoT є переважним для «розумних» застосувань водопостачання завдяки своєму надзвичайно низькому енергоспоживанню.

Наукова література демонструє, що шляхом інтеграції технологій LPWAN, наприклад, LoRaWAN, Sigfox, LTE-M та NB-IoT, у комунікаційній архітектурі «розумних» застосунків водопостачання буде досягнуто:

- низького споживання енергії;
- великої дальності зв'язку;
- відмінної проникності.

Для ліцензованих технологій LPWAN наукові публікації демонструють, що NB-IoT є переважним через широку наявність стільникової інфраструктури в міських районах [1]. Для неліцензованих технологій LPWAN LoRaWAN є однією з найвідоміших, оскільки вона пропонує значні можливості, зокрема, безпечну передачу даних, яка може успішно вирішити проблеми з стабільністю та безпекою передачі даних. Мережі LoRaWAN можуть бути використані для різних «розумних» застосунків водопостачання, зокрема, для моніторингу

якості води, «розумного» вимірювання процесів постачання води та виявлення витоків [63].

2.5 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено інформаційні технології та інструменти супроводу процесів «розумного» водопостачання. Зокрема розглянуто Інтернет речей (IoT). Проаналізовано мікроконтролери в «розумних» системах водопостачання. Досліджено давачі та сенсори в «розумних» системах водопостачання. Окремо розглянуто бездротові комунікаційні технології в «розумних» системах водопостачання.

РОЗДІЛ 3. ПРОТОТИПУВАННЯ СИСТЕМИ «РОЗУМНОГО» ВОДОПОСТАЧАННЯ

3.1 Архітектура системи «розумного» водопостачання

На рисунку 3.1 подана узагальнена архітектура системи «розумного» обліку водопостачання. Архітектура складається з трьох рівнів:

- 1) Рівень вимірювання – містить лічильники та сенсори для збору даних.
- 2) Комунікаційний рівень – передає дані в режимі реального часу.
- 3) Користувацький рівень – забезпечує доступ до інформації для споживачів і комунальних служб.

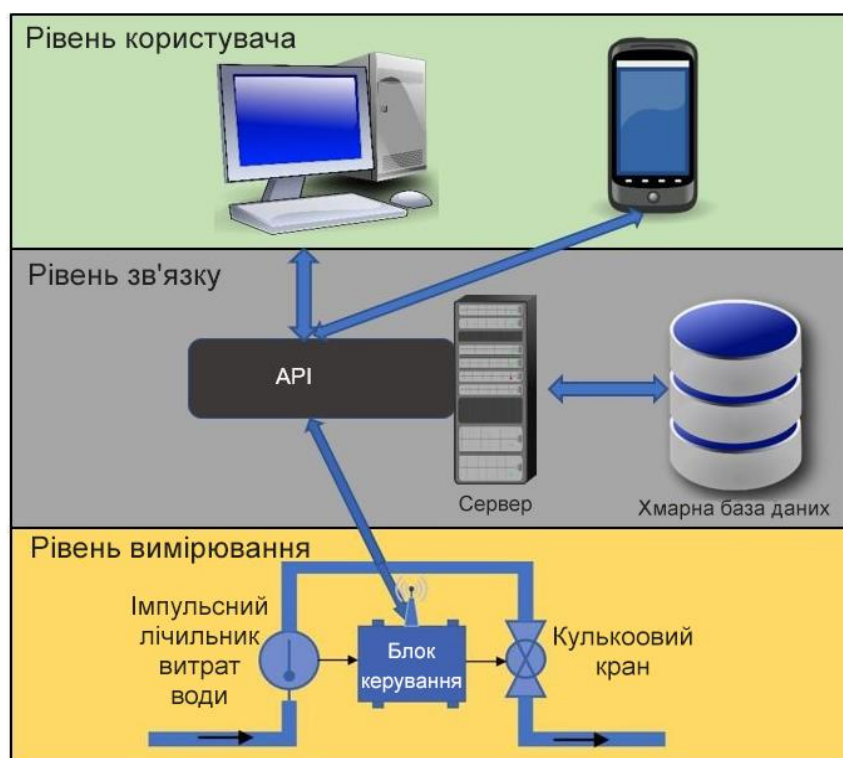


Рисунок 3.1 – Узагальнена архітектура системи «розумного» обліку водопостачання [84]

Шар вимірювання складається з імпульсного лічильника води, контрольного блоку та кульового клапана. Імпульсний лічильник води надає інформацію про обсяг та стабільність потоку води. Можна використовувати

будь-який імпульсний лічильник води (незалежно від кількості імпульсів на літр). Центральний контрольний блок отримує інформацію про швидкість потоку води від лічильника, використовує бездротову мережу для зв'язку в межах інтерфейсу застосунку, періодично оцінює потік води, використовуючи встановлені правила відповідно до логіки застосунку, та керує двостороннім клапаном. Можна використовувати будь-який мікроконтролер. Двосторонній кульковий клапан керує відкриттям або закриттям потоку води, що реагує на запити від контрольного блоку.

Комунікаційний шар надає інтерфейс застосунку (API) з доступом до хмарної бази даних. API реалізовано як веб сервіс, і він дає можливість комунікації між «розумним» лічильником води та користувачем. Інтерфейс комунікації складається з трьох частин: зв'язок із сенсором, кульовим клапаном та мобільним API.

У шарі користувача є дві програми. Веб застосунок дає можливість віддаленого конфігурування, управління лічильником води та адміністрування користувачів. Друга програма призначена для мобільних пристроїв з інтуїтивно зрозумілішим та зручнішим інтерфейсом [82].

3.2 Модель «розумної» системи водопостачання

На рисунку 3.2 подано модель «розумної» системи водопостачання, орієнтовану на централізовану взаємодію через інформаційно-технологічну платформу. У центрі діаграми знаходиться ключовий елемент – веб-портал, який слугує єдиною точкою доступу та управління для всіх компонентів системи. Він виконує роль посередника, що забезпечує комунікацію між різними учасниками та пристроями, даючи змогу збирати дані та надсилати команди.

Зліва на діаграмі подані аспекти водопостачання, пов'язані з користувачами та інфраструктурою. Це користувачі, які, імовірно, представляють споживачів або персонал, що відповідає за водопостачання.



Рисунок 3.1 – Модель «розумної» системи водопостачання [84]

На рис. 3.2 також показані давачі води, які розташовані в мережі для моніторингу параметрів. Внизу зліва розміщено блок IoT, який збирає дані про постачання води, що вказує на роль IoT-пристроїв у зборі інформації з лічильників та інших сенсорів мережі «розумного» водопостачання:

- Призначення – вимірювання різних параметрів, наприклад, потік води, тиск, якість води, рН, каламутність, та рівень у резервуарах.
- Приклади пристроїв: давачі тиску, витратоміри, сенсори якості води, пристрої з GPS.

Усі ці елементи взаємодіють з інформаційно-технологічною платформою для обміну даними та отримання інструкцій.

Зліва посередині розміщено давачі потоку води, які продукують дані щодо водопостачання:

- Призначення – фіксування географічного розташування об'єктів водопостачальної мережі, наприклад, трубопроводи, резервуари, станції очищення.

- Інструменти: GPS, програмне забезпечення ГІС, супутникові знімки.

Праворуч від центрального веб-порталу знаходяться компоненти, які демонструють збір даних та адміністрування системи. Це давачі рівня води в резервуарах «розумної» системи водопостачання та IoT-давачі, які збирають різноманітні дані про стан води та інфраструктури. Отримання даних:

- Процес – збір даних у режимі реального часу з давачів та інтеграція інформації щодо процесів «розумного» водопостачання. Дані можуть надходити через API, прямі підключення до сенсорів або пакетне завантаження.

В процесі отримання відбувається перевірка даних:

- Призначення – забезпечення точності даних, відфільтровування шуму, обробка відсутніх значень та нормалізація показників.

Зібрані дані зберігатимуться в реляційній базі даних та геопросторових базах даних. Огляд робочого процесу

- Збір даних – давачі збирають дані в режимі реального часу, а геопросторові дані інтегруються в систему.

- Обробка даних: система перевіряє точність даних, застосовує бізнес-правила для виявлення аномалій та зберігає їх у геопросторовій та реляційній базах даних.

Інформаційно-технологічна платформа системи «розумного» водопостачання міститиме реляційну базу даних:

- Призначення – збереження структурованих даних, наприклад, показників давачів, історичних записів системи.

- Приклад: база даних на основі SQL, наприклад, PostgreSQL, для збереження інформації про стан інфраструктури, моделі використання, журнали обслуговування.

Геопросторова база даних використовується для картографування процемів «розумного» водопостачання:

- Призначення – збереження цифрової карти водопостачальної мережі з інтегрованими сенсорними даними для відображення оновлень стану.
- Приклад: цифрова карта трубопроводів, резервуарів, станцій очищення води з кольоровим маркуванням стану системи.

Веб портал містить обширний набір різнотипових інструментів для обліку, управління, адміністрування, аналізу та візуалізації процесів «розумного» водопостачання. Важливу роль відіграє адміністративний візуалізатор процесів «розумного» постачання води, який є інструментом веб-порталу для візуалізації даних та моніторингу системи адміністраторами.

Моніторинг і аналіз:

- Панелі управління відображають дані для зацікавлених сторін.
- Сповіщення інформують користувачів про проблеми.
- Аналіз трендів допомагає передбачити майбутні потреби.

При цьому веб-портал реалізує модуль правил:

- Призначення – реалізація заздалегідь визначеної логіки, наприклад, порогових значень, для виявлення аномалій, наприклад, низький тиск води, висока каламутність або відмова обладнання.
- Дія – генерація попереджень при виявленні аномалій.

Для моніторингу та аналізу даних щодо процесів «розумного» водопостачання веб портал містить панелі моніторингу:

- Призначення – візуалізація поточних та історичних даних щодо процесів «розумного» водопостачання через інтерактивні графіки, карти та діаграми.
- Приклад: веб або мобільна панель для операторів, що відображає рівень тиску, швидкість потоку та якість води в різних локаціях.

Веб портал «розумного» водопостачання повинен містити інтегровані засоби попередження та сповіщення:

- Призначення – інформування відповідних зацікавлених сторін, наприклад, інженерів, керівників округів, у разі перевищення заданих порогових значень.

- Приклад: SMS, електронні листи або сповіщення в мобільному застосунку про проблеми водопостачання, наприклад, зниження тиску води або висока її каламутність.

У веб портал інформаційної системи «розумного» водопостачання доцільно інтегрувати аналіз трендів:

- Призначення – використання історичних даних для виявлення закономірностей і прогнозування процесів водопостачання, наприклад, передбачення майбутнього попиту на воду або можливих відмов інфраструктури.

- Приклад: статистичний аналіз для прогнозування потреби в обслуговуванні або погіршення якості води.

У веб портал інформаційної системи «розумного» водопостачання доцільно інтегрувати користувацький інтерфейс для розгляду скарг:

- Призначення – надання платформи для громадян або місцевих органів влади з метою подання скарг на перебої у водопостачанні, витіки труб або проблеми з якістю води тощо.

- Приклад: веб форма або мобільний застосунок, де користувачі можуть надсилати скарги з описом, фото та геолокаційними даними.

Розгляд скарг:

- Громадяни повідомляють про проблеми через платформу.

- Скарги відстежуються до моменту їх вирішення.

Для підвищення якості послуг «розумного» водопостачання потрібно сформувати процедури та програмно-алгоритмічні засоби відстеження та вирішення скарг:

- Призначення – відстеження ходу розгляду скарг, розподіл відповідальності та забезпечення своєчасного вирішення проблем.

– Приклад: бекенд-система для органів влади, що надає можливість відстежувати скарги, визначати пріоритетність за рівнем терміновості та керувати відповідями.

Елемент адміністрування IoT-пристроїв вказує на роль людини, яка керує системою через веб-портал. Таким чином, ця модель ілюструє, як IoT-пристрої, давачі, комунікаційні канали та централізований веб-портал об'єднуються через інформаційно-технологічну платформу для створення інтелектуальної системи управління водопостачанням, забезпечуючи моніторинг, контроль та доступність інформації для всіх зацікавлених сторін.

У процесі створення інформаційної системи «розумного» водопостачання доцільно організувати розмежування прав та привілеїв доступу користувачів і безпеки при веб доступі:

– Призначення – надання авторизованим користувачам, зокрема, менеджерам комунальних служб, обслуговуючому персоналу, громадянам, доступу до інформаційної системи через веб платформу.

– Приклад: Вхід у систему через захищений логін для різних груп користувачів, зокрема, адміністратори, громадяни, виїзний персонал.

Водночас потрібно забезпечити контроль доступу на основі ролей:

– Призначення – обмеження доступу до конфіденційних даних або функцій залежно від ролі користувача, наприклад, адміністратори можуть переглядати всі дані, а громадяни – лише подавати скарги.

– Приклад: різні рівні доступу – адміністратор, польовий інженер, громадянин.

Доступ користувачів і безпека:

– Різні ролі користувачів отримують доступ до системи відповідно до рівня дозволів.

– Використовуються безпечні протоколи доступу.

На всіх рівнях функціонування інформаційної системи «розумного» водопостачання потрібно забезпечити шифрування даних:

- Призначення – захист конфіденційних даних, особливо з IoT-давачів і взаємодій користувачів, забезпечення конфіденційності та безпеки.

- Приклад: шифрування SSL/TLS для веб трафіку, шифрування бази даних для збереження інформації.

Інформаційна система «розумного» водопостачання повинна забезпечувати ефективну масштабованість та інтеграцію з хмарною інфраструктурою:

- Призначення – забезпечення масштабованості системи для обробки зростаючого обсягу даних у міру збільшення кількості давачів або користувачів.

Приклад: використання хмарних платформ, зокрема, AWS, Google Cloud або Azure, для масштабованого зберігання та обчислень.

Масштабованість системи «розумного» водопостачання:

- Хмарна інфраструктура гарантує, що система зможе обробляти зростаючі обсяги даних.

- API забезпечують інтеграцію з іншими сервісами.

В інформаційну систему «розумного» водопостачання доцільно імплементувати API для інтеграції:

- Призначення – забезпечення безшовної інтеграції з іншими системами, як от прогнози погоди, державні бази даних або екстрені служби.

- Приклад – використання RESTful API для отримання даних про погоду або інтеграції з іншими муніципальними сервісами.

3.3 Рекомендації щодо використаних інструментів для систем «розумного» водопостачання

Для систем «розумного» водопостачання основними інструментами є:

- IoT-пристрої та давачі – для моніторингу потокуів води, тиску, якості води тощо (див. параграфи 2.1–2.3).

– Веб портал – доцільно розробити на основі React і Node.js, що забезпечує доступ до даних і взаємодію користувачів із системою.

– Локальні сервери – для зберігання та управління даними в режимі реального часу та оперування структурованими даними.

– Інструменти візуалізації – наприклад, Grafana, що допомагає відстежувати продуктивність систем.

– Геопросторові картографічні інструменти – наприклад, Google Maps API або QGIS, що можуть використовуватись для відображення розташування давачів у водопостачальній мережі та ефективного управління нею.

В таблиці 3.1 подано список та описи ключових функціональних елементів систем «розумного» водопостачання.

Таблиця 3.1 – Функціональні елементи систем «розумного» водопостачання

Категорія	Подробиці
Каркас	Flask – для розробки серверного API керування даними мережі «розумного» водопостачання, запитами користувачів і моніторингу.
Моніторинг у режимі реального часу	IoT-давачі, що фіксують різнотипові характеристики води та процесів «розумного» водопостачання (див. параграф 2.3)
Підсистема зберігання даних	Локальний хост – для зберігання історичних даних про споживання води, рівень тиску, рівень резервуару та стан трубопроводу.
«Backend Logic»	Використовується для моніторингу витрати води, тиску та споживання в мережі в режимі реального часу. Дані з давачів надсилаються на сервер для аналізу.

Формалізуємо перелік рекомендацій щодо функціонування елементів системи «розумного» водопостачання.

Система «розумного» водопостачання повинна успішно інтегрувати IoT-давачі для моніторингу потоку води, тиску та споживання в режимі реального часу, забезпечуючи безперервне оновлення даних на інформаційній панелі. База даних PostgreSQL повинна ефективно зберігати та управляти великими обсягами поточних і історичних даних, забезпечуючи швидкий доступ до аналітики. Інформаційні панелі на основі ReactJS повинні надавати зручний інтерфейс як для адміністраторів, так і для користувачів, покращуючи взаємодію із системою «розумного» водопостачання. Використання прогнозної аналітики на базі машинного навчання повинно давати змогу точніше передбачати попит на воду та оптимізувати розподіл ресурсів.

Інформаційна система «розумного» водопостачання повинна забезпечувати високий рівень безпеки завдяки HTTPS, OAuth2.0 та RBAC, запобігаючи несанкціонованому доступу. Система сповіщень повинна інформувати користувачів про критичні події, зокрема, перебої у водопостачанні або необхідність обслуговування. Інтеграція ГІС-технологій повинна забезпечувати візуальний контроль мережі водопостачання, що підвищує ефективність технічного обслуговування.

Система «розумного» водопостачання повинна покращувати операційну ефективність завдяки моніторингу в режимі реального часу та прогнозній аналітиці, що дає можливість швидко виявляти та усувати проблеми. Система «розумного» водопостачання повинна оптимізувати управління ресурсами завдяки точному прогнозуванню попиту та вдосконаленому плануванню. Інтуїтивний користувацький інтерфейс повинен надавати клієнтам прозорість у споживанні води, сприяючи її раціональному використанню. Механізми захисту даних повинні забезпечувати безпеку, а масштабована архітектура повинна давати змогу легко розширювати систему. У цілому, система «розумного» водопостачання повинна забезпечувати сучасне, безпечне та ефективне рішення для управління водопостачанням.

3.4 Аналіз даних водопостачання у режимі реального часу

Аналіз даних водопостачання в режимі реального часу є критично важливим для ефективності систем «розумного» водопостачання. Завдяки постійному потоку інформації від давачів і лічильників, система може миттєво виявляти аномалії, як от несподівані стрибки споживання, що може свідчити про витік, або значні зміни тиску в мережі. Це дає можливість операторам та автоматизованим системам реагувати на потенційні проблеми значно швидше, ніж при традиційних методах моніторингу, мінімізуючи втрати води та запобігаючи більш серйозним аваріям. Крім того, аналіз даних у режимі реального часу підтримує оптимізацію розподілу води, адаптуючись до змін попиту та забезпечуючи стабільне водопостачання, а також надає користувачам актуальну інформацію про їхнє споживання.

Машинне навчання може відігравати важливу роль у «розумних» застосунках водопостачання. Наразі деякі алгоритми машинного навчання вже використовуються в управлінні «розумних» водопостачанням [1].

Дослідники все більше звертають увагу на машинне навчання (ML), яке може бути використано як стратегія аналізу даних у «розумних» застосунках водопостачання. Машинне навчання – це галузь штучного інтелекту, яка дає можливість системам автоматично вивчати дані без явного програмування. Методи машинного навчання класифікуються на контрольоване навчання, неконтрольоване навчання та навчання з підкріпленням.

У контрольованому навчанні агент навчається загальному правилу, яке відображає вхідні дані на вихідні, використовуючи приклади вхідних та бажаних вихідних даних із міченого набору. Прикладами алгоритмів контрольованого навчання є підримка і K найближчих сусідів. Неконтрольоване навчання спрямоване на виявлення функції, яка розкриє приховану структуру з немічених даних. Алгоритм кластеризації K -Means часто використовується в неконтрольованих алгоритмах. Навчання з підкріпленням має на меті покращення довгострокової мети шляхом взаємодії з оточенням

через процес спроб і помилок [85]. Після того, як дані передаються, їх потрібно зберігати, аналізувати та представити в зрозумілому вигляді. Ці дані можна зберігати в хмарі, наприклад, у базі даних MySQL, а для подання даних можна використовувати програмне забезпечення для візуалізації, як от платформа JAVA [82], Grafana [86] та Python.

3.5 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано прототипування системи «розумного» водопостачання. Сформована архітектура системи «розумного» водопостачання. Описана модель «розумної» системи водопостачання. Сформовано рекомендації щодо використаних інструментів для систем «розумного» водопостачання. Розглянуто аналіз даних водопостачання у режимі реального часу.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК

Розробка, впровадження та підтримка будь-яких інформаційно-технологічних систем, включаючи «розумні» системи водопостачання, вимагає значної роботи за комп'ютером. Інженери, розробники, оператори та адміністратори цих систем проводять багато часу перед екраном, проектуючи архітектуру, програмуючи мікроконтролери, аналізуючи дані з давачів, керуючи хмарними платформами та моніторячи роботу всієї інфраструктури.

Недотримання правил безпечної роботи з ПК може призвести до проблем зі здоров'ям, таких як синдром комп'ютерного зору, болі в спині, синдром зап'ястного каналу тощо, що безпосередньо впливає на продуктивність та якість роботи персоналу, який є невід'ємною частиною життєвого циклу «розумної» системи. Таким чином, забезпечення комфортних та безпечних умов праці є передумовою для успішної реалізації та функціонування таких складних ІТ-систем.

Розглядаючи «розумні» системи водопостачання як комплексне рішення, важливо розуміти, що ефективність їх роботи залежить не лише від технологічних аспектів, але й від людського фактора. Хоча кваліфікаційна робота зосереджена на інформаційних технологіях, вона опосередковано стосується й тих, хто ці технології створює та використовує. Тому в розділі безпека життєдіяльності доцільно розглянути питання забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК.

Комп'ютери глибоко інтегрувалися в наше повсякденне життя, слугуючи інструментом для професійної діяльності, освіти, дозвілля та комунікації. Однак, користуючись ними, вкрай важливо дотримуватися правил безпеки. У цьому матеріалі ми зосередимося на ключових аспектах безпеки життєдіяльності під час роботи за комп'ютером і запропонуємо рекомендації для уникнення потенційних труднощів.

Питання безпеки при використанні комп'ютера має велике значення з декількох причин. По-перше, ігнорування правил безпеки може призвести до фізичних ушкоджень. Наприклад, неправильна організація робочого місця, зокрема невідповідний комп'ютерний стіл або незручне крісло, може спричинити біль у спині чи шиї. Крім того, тривалий час, проведений за комп'ютером, часто викликає перенапруження очей та інші проблеми зі здоров'ям [87].

По-друге, захист даних є ще одним критично важливим аспектом. Викрадення або втрата цінної інформації може обернутися серйозними наслідками, що можуть зашкодити як діловій репутації, так і особистому життю користувача. Застосування таких захисних заходів, як використання надійних паролів та шифрування даних, допомагає запобігти подібним неприємностям.

Під час використання комп'ютера рекомендується дотримуватися певних правил щодо тривалості сеансів, ергономічної постави, параметрів відображення тексту та зображень, а також вимог до умов у приміщенні. Нижче наведено основні принципи для організації ефективної та безпечної роботи за комп'ютером [88]:

- У робочому приміщенні, де розташовані комп'ютери, щоденно слід проводити вологе прибирання.
- Приміщення з комп'ютерами необхідно провітрювати щогодини.
- Після кожного періоду роботи рекомендується робити десятихвилинну перерву, яку зручно поєднувати з провітрюванням. Безперервна робота за комп'ютером для дорослої людини не повинна перевищувати двох годин. Під час перерви не варто займатися читанням чи переглядом телевізора. Перерва, проведена за комп'ютером (наприклад, для ігор або пошуку матеріалів в Інтернеті), втрачає своє призначення.
- Необхідно постійно контролювати стан екрана монітора: він має бути чистим, без плям та пилу. Крім того, обов'язково слідкувати за чистотою окулярів – як комп'ютерних, так і звичайних.

– Слідкувати за поставою: ноги повинні твердо стояти на підлозі або на спеціальній підставці; стегна розташовуються під прямим кутом до тулуба, а гомілки – під прямим кутом до стегон; сидіти потрібно прямо або з легким нахилом вперед; пальці рук знаходяться на рівні зап'ястків або трохи нижче, що забезпечує їх найбільшу рухливість; плечі мають бути розслаблені та вільно опущені, сприяючи розслабленню рук; відстань від очей до екрану монітора – не менше 55-60 см; центр екрану має знаходитися на рівні очей або трохи нижче; рекомендується принаймні раз на день виконувати гімнастику для очей.

– Для запобігання "синдрому сухого ока" слід моргати кожні 3-5 секунд.

– Незважаючи на сучасні технології, деякі користувачі досі використовують звичайний телевізор замість монітора. Так чинити категорично не рекомендується, оскільки випромінювання від телевізора практично у сто разів перевищує випромінювання монітора. Це зумовлено тим, що телевізор призначений для перегляду на значній відстані.

– У процесі роботи за комп'ютером обов'язково звертайте увагу на дихання: воно має бути рівномірним, без затримок.

– При роботі з текстом рекомендується використовувати темний колір шрифту на світлому фоні (ідеальним варіантом є чорний шрифт на білому фоні).

– Якщо шрифт занадто дрібний, необхідно збільшити масштаб документа (наприклад, до 150% або більше).

– При наборі текстів з паперових джерел або книг рекомендується розміщувати джерело якомога ближче до монітора. Це дозволить уникнути частих рухів головою та очима.

– За наявності можливості, слід змінювати вид діяльності протягом дня.

– У процесі роботи рекомендується періодично (приблизно раз на 20-30 хвилин) переводити погляд з екрану на найбільш віддалений предмет у кімнаті, а ще краще – на віддалений об'єкт за вікном.

– Якщо з'явилося відчуття втоми, напруження, сонливості або тяжкості в очах, необхідно припинити роботу та хоча б трохи відпочити.

Наступні умови є рекомендованими для ефективної та безпечної роботи за комп'ютером:

- Слід займати глибоке положення на стільці з жорстким сидінням та високою спинкою, яка має вигин для підтримки попереку. Це сприятиме вирівнюванню спини та забезпечить підтримку шиї. Край сидіння не повинен створювати тиск на судини під колінами.

- Відстань до монітора має становити від 50 до 70 см.

- Рекомендується використовувати мишку відповідного розміру та зручної форми.

- У процесі сидячої роботи слід робити перерви, встаючи та рухаючись протягом 15-20 хвилин кожні 1-2 години.

- Важливо правильно організувати освітлення робочого місця. При недостатньому освітленні очі можуть напружуватися та викликати біль. Слід контролювати яскравість екрану. Оскільки літери та цифри на екрані є маленькими світловими променями, що спрямовані безпосередньо в очі, необхідно відрегулювати їх контрастність, щоб світло не було надто інтенсивним.

- Для відпочинку очей рекомендується періодично їх закривати. Час від часу слід відводити погляд убік, щоб дати очам відпочити.

- Переміщуйте погляд по всій площі екрану, намагаючись не фіксувати його напружено в одній точці. Це дозволить задіяти всі м'язи очей поперемінно, запобігаючи максимальному навантаженню на окремі групи.

- Рекомендується використовувати спеціальні очні гелі (наприклад, "Візін", "Відисик"), які допомагають запобігти "висиханню" рогівки ока. Запобігти захворюванням очей також можуть окуляри для роботи за комп'ютером, що мають спеціальне покриття.

4.2 Домедична допомога при ураженні електричним струмом

«Розумні» системи водопостачання, попри свою цифрову природу, базуються на фізичній інфраструктурі, що включає електричні компоненти: датчики, мікроконтролери, насоси, виконавчі механізми (як-от кульові крани) та комунікаційне обладнання, які потребують електроживлення. Встановлення, обслуговування, ремонт та навіть повсякденна експлуатація цих систем неминуче передбачає взаємодію персоналу з електроустановками, що несе потенційний ризик ураження електричним струмом. Оскільки будь-яке зволікання або некомпетентність у наданні першої допомоги може мати фатальні наслідки, розуміння алгоритму дій при ураженні струмом є критично важливим для забезпечення безпеки тих, хто працює з такими системами.

Крім того, хоча кваліфікаційна робота зосереджена на технологічних аспектах, успішне впровадження та функціонування «розумних» систем водопостачання неможливе без забезпечення належного рівня безпеки праці для залученого персоналу. Здоров'я та життя інженерів, техніків та операторів є найвищою цінністю, і будь-яка ІТ-система, яка не враховує аспекти безпеки людини, не може вважатися повноцінною чи відповідальною.

У випадку ураження електричним струмом, першочерговим кроком є негайне припинення його дії на потерпілого. Це досягається шляхом відключення електроустановки від джерела живлення. Якщо ж відключення неможливе, слід обережно відтягнути постраждалого від струмопровідних елементів, використовуючи для цього його одяг або будь-який доступний ізоляційний матеріал [89].

У разі ураження електричним струмом ключовим є якнайшвидше відокремити постраждалого від струмопровідних елементів обладнання. Зазвичай, контакт з мережею під напругою викликає судомі м'язів, унеможливаючи самостійне відривання від провідника. Тому пріоритетом є негайне знеструмлення тієї ділянки електрообладнання, з якою контактує людина. Будь-яке зволікання в наданні допомоги або некваліфіковані дії

рятувальника можуть призвести до фатальних наслідків для особи, що перебуває під дією струму [90].

Щоб звільнити постраждалих від струмопровідних частин або проводів в електроустановках з напругою до 1000 В, необхідно знеструмити обладнання. Для цього можна використати сухі ізолюючі предмети, такі як одяг, палиця, дошка, шапка, сухі рукавиці, рукав одягу або діелектричні рукавиці. Перерізати провідники слід інструментом з ізольованими ручками, а перерубувати – сокирою з сухим дерев'яним топорищем.

Щоб відтягнути потерпілого від струмопровідних елементів, можна схопити його за одяг, при цьому важливо уникати будь-якого контакту з металевими об'єктами поблизу або з відкритими ділянками тіла постраждалого. Якщо тягнути потерпілого за ноги, ні в якому разі не можна торкатися його взуття, адже воно може бути вологим і в такому випадку пропускати електричний струм. Рятувальник, у свою чергу, повинен забезпечити власну ізоляцію, надягнувши діелектричні рукавиці, або обмотавши руки шарфом, чи натягнувши рукави піджака чи пальта. Також можна ізолювати себе від землі, ставши на гумовий килимок, суху дерев'яну дошку чи подібний матеріал.

Коли у потерпілого відсутні дихання та пульс, необхідно терміново розпочати реанімаційні заходи, що включають штучне дихання та непрямий масаж серця. Під час цих дій важливо звернути увагу на стан зіниць: їх розширення свідчить про значне порушення кровопостачання мозку. У такому критичному стані оживлення слід починати негайно, а потім одразу ж викликати бригаду швидкої медичної допомоги.

Після звільнення потерпілого від дії струму потрібно відразу ж надати йому необхідну медичну допомогу. Виділяють три стани людського організму внаслідок дії електроструму [90]:

- I стан – потерпілий при свідомості. Слід забезпечити повний спокій, 2-3 годинне спостереження, виклик лікаря.

– II стан – потерпілий непритомний, але дихає. Людину покласти горизонтально, розстебнути комір і пасок, дати нюхати нашатирний спирт, викликати лікаря.

– III стан – потерпілий не дихає або дихає з перервами, уривчасто. Роблять штучне дихання і непрямий масаж серця.

Обсяг першої допомоги, що надається особі, яка постраждала від електричного струму, безпосередньо залежить від її стану після звільнення від джерела ураження. Для оцінки цього стану необхідно виконати наступні дії:

- покласти потерпілого спиною на тверду поверхню;
- перевірити наявність у потерпілого дихання;
- перевірити наявність у потерпілого пульсу на сонній артерії;
- з'ясувати стан зіниці, широка зіниця вказує на погіршення кровопостачання.

У кожному випадку ураження електричним струмом виклик медичного фахівця є обов'язковим, незалежно від поточного стану постраждалого.

Якщо потерпілий перебуває у свідомості, його слід розмістити у зручному положенні та забезпечити повний спокій до приїзду лікаря, постійно контролюючи дихання та пульс. Потерпілому заборонено рухатися чи продовжувати свою діяльність. Якщо медична допомога не може прибути швидко, необхідно негайно доставити постраждалого до найближчого медичного пункту [91].

У ситуації, коли потерпілий знепритомнів, його потрібно покласти, розстебнути одяг, забезпечити доступ свіжого повітря, дати понюхати нашатирний спирт або окропити обличчя водою, після чого забезпечити спокій. Водночас необхідно викликати лікаря. Якщо дихання постраждалого утруднене, рідке або судомне, слід негайно розпочати штучне дихання та непрямий масаж серця.

Навіть за відсутності видимих ознак життя у потерпілого, його не слід вважати померлим. У такій ситуації, якщо негайно не надати першу допомогу у вигляді штучного дихання та зовнішнього масажу серця, настання смерті є

неминучим. Процес оживлення організму, ураженого електричним струмом, може бути здійснений різними методами, але всі вони ґрунтуються на штучному диханні. Штучне дихання слід починати одразу ж після звільнення потерпілого від дії струму і проводити безперервно до досягнення позитивного результату або до прибуття медиків.

Переміщення потерпілого до іншого місця дозволяється лише тоді, коли йому або особі, що надає допомогу, загрожує подальша небезпека.

Констатувати смерть особи, ураженої електричним струмом, можна лише за наявності очевидних та тяжких зовнішніх ушкоджень, таких як роздроблення черепа внаслідок падіння або повне обгорання тіла. В інших випадках смерть може бути підтверджена лише в умовах медичного закладу.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК. Окремо описана домедична допомога при ураженні електричним струмом.

ВИСНОВКИ

У рамках кваліфікаційної роботи було досліджено та проаналізовано предметну область «розумного» водопостачання, окреслено критичну роль інформаційно-комунікаційних технологій та Інтернету речей у збереженні водних ресурсів та проаналізовано методи проектування відповідних застосунків.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- описано предметну область водопостачання;
- висвітлено роль ІКТ та IoT у збереженні водних ресурсів;
- проаналізовано методи проектування «розумних» застосунків

водопостачання.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- досліджено інформаційні технології та інструменти супроводу процесів

«розумного» водопостачання;

- зокрема розглянуто Інтернет речей (IoT);
- проаналізовано мікроконтролери в «розумних» системах

водопостачання;

- досліджено давачі та сенсори в «розумних» системах водопостачання;
- розглянуто бездротові комунікаційні технології в «розумних» системах

водопостачання.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- виконано прототипування системи «розумного» водопостачання;
- сформована архітектура системи «розумного» водопостачання;
- описана модель «розумної» системи водопостачання;
- сформовано рекомендації щодо використаних інструментів для систем

«розумного» водопостачання;

- розглянуто аналіз даних водопостачання у режимі реального часу.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» розглянуто забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК. Окремо описана домедична допомога при ураженні електричним струмом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Okoli, Nwakego Joy, and Boniface Kabaso. "Building a smart water city: iot smart water technologies, applications, and future directions." *Water* 16.4 (2024): 557.
- 2 Raimi, M.O.; Adedoyin, O.O.; Ayibatobira, A.A.; Anu, B.; Odipe, O.E.; Deinkuro, N.S. "Digging deeper" evidence on water crisis and its solution in Nigeria for Bayelsa state: A study of current scenario. *Int. J. Hydrol.* 2019, 3, 244–257.
- 3 Olmstead, S.M. Climate change adaptation and water resource management: A review of the literature. *Energy Econ.* 2014, 46, 500–509.
- 4 Ahile, S.I.; Udoumoh, E.F.; Adzande, P. Residents coping strategies with water scarcity in Makurdi town, Nigeria. *Mediterr. J. Soc. Sci.* 2015, 6, 100–108.
- 5 Harris, J.; Balfour, F.; Zwinkels, M.; Gobel, T.; Heyningen, P.; Frame, J. Western Cape Sustainable Water Management Plan 2017–2022: Towards a New Norm for Water Resilience; Western Cape Government, Environmental Affairs and Development Planning: Cape Town, South Africa, 2018.
- 6 Allam, Z.; Dhunny, Z.A. On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities* 2019, 89, 80–91.
- 7 Peng, G.C.A.; Nunes, M.B.; Zheng, L. Impacts of low citizen awareness and usage in smart city services: The case of London's smart parking system. *Inf. Syst. E-Bus Manag.* 2017, 15, 845–876.
- 8 Hall, R.E.; Bowerman, B.; Braverman, J.; Taylor, J.; Todosow, H.; Von Wimmersperg, U. The vision of a smart city. In *Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop*, Paris, France, 28 September 2000; pp. 1–6.
- 9 Schaffers, H.; Ratti, C.; Komninos, N. Special issue on smart applications for smart cities—New approaches to innovation: Guest editors' introduction. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2012, 7, 2–6.
- 10 Abraham, S.; Beard, J.; Manijacob, R. Remote environmental monitoring using Internet of Things (IoT). In *Proceedings of the 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, San Jose, CA, USA, 19–22 October 2017; pp. 1–6.

- 11 Li, J.; Bao, S.; Burian, S. Real-time data assimilation potential to connect micro-smart water test bed and hydraulic model. *H2Open J.* 2019, 2, 71–82.
- 12 Mutchek, M.; Williams, E. Moving towards sustainable and resilient smart water grids. *Challenges* 2014, 5, 123–137.
- 13 Ye, Y.; Liang, L.; Zhao, H.; Jiang, Y. The system architecture of smart water grid for water security. *Procedia Eng.* 2016, 154, 361–368.
- 14 McKenna, K.; Keane, A. Residential load modeling of price-based demand response for network impact studies. *IEEE Trans. Smart Grid.* 2016, 7, 2285–2294.
- 15 Kartakis, S.; Abraham, E.; McCann, J.A. Waterbox: A testbed for monitoring and controlling smart water networks. In *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Cyber-Physical Systems for Smart Water Networks*, Seattle, WA, USA, 14–16 April 2015; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2015; pp. 1–6.
- 16 Yu, C.; Hazen, J. Testing the Water: Smart Metering for Water Utilities. 2010. Report, Oracle. Available online: <http://www.oracle.com/us/dm/h2fy11/oracle-utilitystngwterprtfinl-11v2-336423.pdf>.
- 17 Günther, M.; Camhy, D.; Steffebauer, D.; Neumayer, M.; Fuchs-Hanusch, D. Showcasing a smart water network based on an experimental water distribution system. *Procedia Eng.* 2015, 119, 450–457.
- 18 Allen, M.; Preis, A.; Iqbal, M.; Whittle, A.J. Case study: A smart water grid in Singapore. *Water Pract. Technol.* 2012, 7, 4.
- 19 Stewart, R.A.; Willis, R.; Giurco, D.; Panuwatwanich, K.; Capati, G. Web-based knowledge management system: Linking smart metering to the future of urban water planning. *Aust. Plan.* 2010, 47, 66–74.
- 20 Britton, T.C.; Stewart, R.A.; O'Halloran, K.R. Smart metering: Enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management. *J. Clean. Prod.* 2013, 54, 166–176.
- 21 Morote, Á.F.; Hernández-Hernández, M. Unauthorised domestic water consumption in the city of Alicante (Spain): A consideration of its causes and urban distribution (2005–2017). *Water* 2018, 10, 851.

22 Monks, I.; Stewart, R.A.; Sahin, O.; Keller, R. Revealing unreported benefits of digital water metering: Literature review and expert opinions. *Water* 2019, 11, 838.

23 Wong, Y.J.; Nakayama, R.; Shimizu, Y.; Kamiya, A.; Shen, S.; Rashid, I.Z.M.; Sulaiman, N.M.N. Toward industrial revolution 4.0: Development, validation, and application of 3D-printed IoT-based water quality monitoring system. *J. Clean. Prod.* 2021, 324, 129230.

24 Ntuli, N.; Abu-Mahfouz, A. A simple security architecture for smart water management system. *Procedia Comput. Sci.* 2016, 83, 1164–1169.

25 Nikhil, R.; Rajender, R.; Dushyantha, G.R.; Khadri, M.N.S.; Jagadevi, N.K. Water quality monitoring system using IoT Environment. *Int. J. Innov. Eng. Technol.* 2018, 10, 74–78.

26 Yang, L.; Yang, S.H.; Magiera, E.; Froelich, W.; Jach, T.; Laspidou, C. Domestic water consumption monitoring and behaviour intervention by employing the internet of things technologies. *Procedia Comput. Sci.* 2017, 111, 367–375.

27 Gosavi, G.; Gawde, G.; Gosavi, G. Smart water flow monitoring and forecasting system. In *Proceedings of the 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, Bengaluru, India, 19–20 May 2017; pp. 1218–1222.

28 Suresh, M.; Muthukumar, U.; Chandapillai, J. A novel smart water-meter based on IoT and smartphone app for city distribution management. In *Proceedings of the 2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, Cochin, India, 14–16 July 2017; pp. 1–5.

29 Srivastava, S. Domestic water conservation by IOT (Smart Home). *Int. Res. J. Eng. Technol.* 2018, 5, 328–330.

30 Anandhavalli, D.; Sangeetha, K.; Dharshini, V.P.; Fathima, B.L. Smart meter for water utilization using IoT. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 2018, 5, 1002–1005.

31 Gupta, K.; Kulkarni, M.; Magdum, M.; Baldawa, Y.; Patil, S. Smart Water Management in Housing Societies using IoT. In *Proceedings of the Second*

International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), Coimbatore, India, 27 September 2018; pp. 1609–1613.

32 Soh, Z.H.C.; Shafie, M.S.; Shafie, M.A.; Sulaiman, S.N.; Ibrahim, M.N.; Abdullah, S.A.C. IoT water consumption monitoring alert system. In Proceedings of the 2018 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs), Banda Aceh, Indonesia, 19–20 September 2018; pp. 168–172.

33 De Paula, H.T.L.; Gomes, J.B.A.; Affonso, L.F.T.; Rabelo, R.A.L.; Rodrigues, J.J.P.C. An IoT-based water monitoring system for smart buildings. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Shanghai, China, 20–24 May 2019; pp. 1–5.

34 Hasibuan, A.A.; Fahrianto, F. Consumer's activity prediction in household water consumption based-IoT (Internet of Things). In Proceedings of the 2019 7th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), Jakarta, Indonesia, 6–8 November 2019; pp. 1–7.

35 Patel, C.S.; Gaikwad, J.A. Design and development of IOT based smart water distribution network for residential areas. In Proceedings of the 2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, 17–19 July 2019; pp. 2019–2023.

36 Rapelli, N.; Myakal, A.; Kota, V.; Rajarapolu, P.R. IoT based smart water management, monitoring and distribution system for an apartment. In Proceedings of the 2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS), Madurai, India, 15–17 May 2019; pp. 440–443.

37 Jisha, R.C.; Vignesh, G.; Deekshit, D. IOT based water level monitoring and implementation on both agriculture and domestic areas. In Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT), Kannur, India, 5–6 July 2019; pp. 1119–1123.

38 Herath, I.S. Smart water buddy: IoT based intelligent domestic water management system. In Proceedings of the 2019 International Conference on Advancements in Computing (ICAC), Malabe, Sri Lanka, 5–6 December 2019; pp. 380–385.

39 Vithanage, J.; De Silva, R.; Karunaratne, K.; Silva, M.D.; Bogoda, P.; Kankanange, R.; Kehelella, P.; Jayakody, K.D.; Wijekoon, J.L. SmartOne: IoT-based smart platform to manage personal water usage. In Proceedings of the 2019 International Conference on Advancements in Computing (ICAC), Malabe, Sri Lanka, 5–6 December 2019; pp. 398–403.

40 Harika, G.L.; Chowdary, H.; Kiranmai, T.S. Cloud-based internet of things for smart water consumption monitoring system. In Proceedings of the 2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, 10–12 June 2020; pp. 967–972.

41 Ray, A.; Goswami, S. IoT and cloud computing based smart water metering system. In Proceedings of the 2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and Its Control (PARC), Mathura, India, 28–29 February 2020; pp. 308–313.

42 Ray, A.; Ray, H. SSIWM: Smart secured IoT framework for integrated water resource management system. In Proceedings of the 2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC), Vijiyapur, India, 8–10 October 2020; pp. 9–14.

43 Sarangi, A.K. Smart water leakage and theft detection using IoT. In Proceedings of the 2020 International Conference on Industry 4.0 Technology (I4Tech), Pune, India, 13–15 February 2020; pp. 46–50.

44 Ranjan, V.; Reddy, M.V.; Irshad, M.; Joshi, N. The internet of things (IoT) based smart rain water harvesting system. In Proceedings of the 2020 6th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), Noida, India, 5–7 March 2020; pp. 302–305.

45 Alves Coelho, J.; Glória, A.; Sebastião, P. Precise water leak detection using machine learning and real-time sensor data. *IoT* 2020, 1, 474–493.

46 Fuentes, H.; Mauricio, D. Smart water consumption measurement system for houses using IoT and cloud computing. *Environ. Monit. Assess* 2020, 192, 1–16.

47 Migabo, E.; Djouani, K.; Kurien, A. Design of an energy efficient LoRaWAN-based smart IoT water meter for African municipalities. In Proceedings

of the International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), Cape Town, South Africa, 9–10 December 2021; pp. 9–10.

48 Alejandrino, R.S.; Diomampo, M.C.G.; Balbin, J.R. Smart water meter with cloud database and water bill consumption monitoring via sms and mobile application. In Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), Shah Alam, Malaysia, 25 June 2022; pp. 90–95.

49 Ali, A.S.; Abdelmoez, M.N.; Heshmat, M.; Ibrahim, K. A solution for water management and leakage detection problems using IoTs based approach. *Internet Things* 2022, 18, 1–16.

50 Andric', I.; Vrsalovic', A.; Perkovic', T.; Cuvic', M.A.; Šolic', P. IoT approach towards smart water usage. *J. Clean. Prod.* 2022, 367, 1–12.

51 Pasichnyk, V. et al. Building Secure Urban Information Systems Based on IoT Technologies. 2020.

52 Ashton, K. That “internet of things” thing. *RFiD J.* 2009, 22, 97–114.

53 Gubbi, J.; Buyya, R.; Marusic, S.; Palaniswami, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Futur. Gener. Comput. Syst.* 2013, 29, 1645–1660.

54 Dunko, G.; Misra, J.; Robertson, J.; Snyder, T. A Reference Guide to the Internet of Things; Bridgera LLC: Raleigh, NC, USA, 2017; pp. 1–82.

55 Duda O. et al. Formation of hypercubes based on data obtained from systems of IoT devices of urban resource networks. *International Journal of Sensors Wireless Communications and Control*, 2021, 11.5: 498-504.

56 Palka, O., Dmytrotsa, L., Duda, O., Kunanets, N., Pasichnyk, V. Information and technological tools for analysis and visualization of open data in smart cities. *Ceur Workshop Proceedings*, 2024, 3742, pp. 1–12.

57 Chuang, W.Y.; Tsai, Y.L.; Wang, L.H. Leak detection in water distribution pipes based on CNN with mel frequency cepstral coefficients. In Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Innovation in Artificial Intelligence, Suzhou, China, 15 March 2019.

58 Porwal, S.; Akbar, S.A.; Jain, S.C. Leakage detection and prediction of location in a smart water grid using SVM classification. In Proceedings of the 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), Chennai, India, 1–2 August 2017.

59 Khosravani, M.R.; Reinicke, T. 3D-printed sensors: Current progress and future challenges. *Sens. Actuators A Phys.* 2020, 305, 111916.

60 Decker, A. Solar energy harvesting for autonomous field devices. *IET Wirel. Sens. Syst.* 2014, 4, 1–8. 106. Ford, N. Seeking water solutions for Africa. *African Bus.* 2008, 338, 1–2.

61 Teja, R. What Is a Sensor? Different Types of Sensors and Their Applications. *Electron. Hub.* 2021. Available online: <https://www.electronicshub.org/different-types-sensors/>.

62 Rao, Y.R. Automatic smart parking system using Internet of Things (IoT). *Int. J. Eng. Technol. Sci. Res.* 2017, 4, 225–228.

63 TechTarget. Sensor. Available online: <https://whatis.techtarget.com/definition/sensor>.

64 Bernard, C. Smart water management: 5 innovative solutions to water scarcity offered by the IoT. 2022. Available online: <https://saft.com/energizing-iot/smart-water-management-5-innovative-solutions-water-scarcity-offered-iot>.

65 Lalle, Y.; Fourati, M.; Fourati, L.C.; Barraca, J.P. Communication technologies for smart water grid applications: Overview, opportunities, and research directions. *Comput. Netw.* 2021, 190, 1–23.

66 Ford, R.; Pritoni, M.; Sanguinetti, A.; Karlin, B. Categories and functionality of smart home technology for energy management. *Build Environ.* 2017, 123, 543–554.

67 Ding, J.; Nemati, M.; Ranaweera, C.; Choi, J. IoT connectivity technologies and applications: A survey. *IEEE Access* 2020, 8, 67646–67673.

68 Gautam, J.; Chakrabarti, A.; Agarwal, S.; Singh, A.; Gupta, S.; Singh, J. Monitoring and forecasting water consumption and detecting leakage using an IoT system. *Water Supply* 2020, 20, 1103–1113.

69 Duda, O., Karnaukhov, O., Martsenko, S., & Yatsyshyn, V. Cyber-physical systems at “Digital University”. In: CEUR. 2023. p. 605-609.

70 Abbas, O.; Abou Rjeily, Y.; Sadek, M.; Shahrour, I. A large-scale experimentation of the smart sewage system. *Water Environ, J.* 2017, 31, 515–521.

71 Guibene, W.; Nolan, K.E.; Kelly, M.Y. Survey on clean slate cellular-IoT standard proposals. In *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing*, Liverpool, UK, 26–28 October 2015.

72 Ayoub, W.; Samhat, A.E.; Nouvel, F.; Mroue, M.; Prévotet, J.C. Internet of mobile things: Overview of LoRaWAN, DASH7, and NB-IoT in LPWANs standards and supported mobility. *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 2019, 21, 1561–1581.

73 Duda O., et al. Information technology sets formation and "TNTU Smart Campus" services network support. In: ITTAP. 2023. p. 93-105.

74 Adelantado, F.; Vilajosana, X.; Tuset-Peiro, P.; Martinez, B.; Melia-Segui, J.; Watteyne, T. Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Commun. Mag.* 2017, 55, 34–40.

75 Mekki, K.; Bajic, E.; Chaxel, F.; Meyer, F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express* 2019, 5, 1–7.

76 Ikpehai, A.; Adebisi, B.; Rabie, K.M.; Anoh, K.; Ande, R.E.; Hammoudeh, M.; Gacanin, H.; Mbanaso, U.M. Low-power wide area network technologies for internet-of-things: A comparative review. *IEEE Internet Things J.* 2019, 6, 2225–2240.

77 Osman, N.I.; Abbas, E.B. Simulation and modelling of LoRa and Sigfox low power wide area network technologies. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, Khartoum, Sudan, 12–14 August 2018.

78 Mekki, K.; Bajic, E.; Chaxel, F.; Meyer, F. Overview of cellular LPWAN technologies for IoT deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and*

Communications Workshops (PerCom Workshops), Athens, Greece, 19–23 March 2018.

79 Centenaro, M.; Vangelista, L.; Zanella, A.; Zorzi, M. Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wirel. Commun.* 2016, 23, 60–67.

80 Ratasuk, R.; Mangalvedhe, N.; Bhatoolaul, D.; Ghosh, A. LTE-M evolution towards 5G massive MTC. In *Proceedings of the 2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Singapore, 4–8 December 2017.

81 Dawaliby, S.; Bradai, A.; Pousset, Y. In depth performance evaluation of LTE-M for M2M communications. In *Proceedings of the 2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, New York, NY, USA, 17–19 October 2016.

82 Boisguene, R.; Tseng, S.C.; Huang, C.W.; Lin, P. A survey on NB-IoT downlink scheduling: Issues and potential solutions. In *Proceedings of the 2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Valencia, Spain, 26–30 June 2017.

83 Adhikary, A.; Lin, X.; Wang, Y.P.E. Performance evaluation of NB-IoT coverage. In *Proceedings of the 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, Montreal, QC, Canada, 18–21 September 2016.

84 Fikejz, J.; Rolecek, J. Proposal of a smart water meter for detecting sudden water leakage. In *Proceedings of the 2018 ELEKTRO*, Mikulov, Czech Republic, 21–23 May 2018.

85 Sun, Y.; Peng, M.; Zhou, Y.; Huang, Y.; Mao, S. Application of machine learning in wireless networks: Key techniques and open issues. *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 2019, 21, 3072–3108.

86 Folgado, F.J.; González, I.; Calderón, A.J. Data acquisition and monitoring system framed in Industrial Internet of Things for PEM hydrogen generators. *Internet Things* 2023, 22, 1–16.

87 Безпека життєдіяльності при роботі з комп'ютером. <https://ua5.org/svit/2394-bezpeka-zhyttyedyialnosti-pry-roboti-z-kompyuterom.html>.

88 Правила безпечної роботи на комп'ютері.
<https://kadrovik.isu.net.ua/news/559144-pravyla-bezpechnoyi-roboty-na-kompyuteri>.

89 Перша допомога при ураженні електричним струмом.
<https://oppb.com.ua/news/persha-dopomoga-pry-urazhenni-elektrychnym-strumom>.

90 Правила надання першої допомоги при ураженні електричним струмом. <https://lviv.dsp.gov.ua/pravyla-nadannia-pershoi-dopomohy-pry-u/10723/>.

91 Перша допомога при ураженні електричним струмом.
<https://bozhedarivska-selrada.gov.ua/news/1576497483/>.