

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-23м
спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні
технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мельник О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ІРТС

Дудатьєв І.А.
(прізвище та ініціали)

« 10 » 12 2024 р.

Опонент: доц. каф. ІКСТ, к.т.н., доц.

Семенова О.О.
(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність 175 – Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мельнику Олексію Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності

керівник роботи к.т.н., доцент кафедри ІРТС Дудатьєв І.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» 09.2024 р. №310.

2. Строк подання студентом роботи 10.12.2024р. _____

3. Вихідні дані до роботи:

Максимальна відносна похибка засобу контролю: 1%.

Метод: електролітична провідність.

Матеріали: сучасні інструменти і технології для виявлення протікання води.

Етапи експерименту: моделювання та оцінка параметрів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. Огляд літератури та сучасних методів контролю протікання води. Розробка моделі засобу контролю протікання води. Фізико-математичне представлення методу електролітичної провідності та експериментальні дослідження. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень). Залежність провідності води від температури. Зміна чутливості залежно від концентрації іонів. Блок-схема засобу контролю протікання води. Порівняння різних методів виявлення протікання води. Зниження похибки протягом калібрування. Тренд економічної ефективності на різних етапах впровадження. Покращення ефективності з ітераціями. Згасання сигналу залежно від відстані.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., доцент кафедри ІРТС Дудатьєв І.А.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-07.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	09.12.2024-10.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	12.12.2024	

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Мельник О.О.

Дудатьєв І.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 628.1

Мельник О.О. Засіб контролю протікання води на основі електролітичної провідності. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології, освітня програма - Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. Вінниця: ВНТУ, 2024. 111 с. На укр. мові. Бібліогр.: 35 назв; рис.: 22; табл. 17.

У магістерській кваліфікаційній роботі "Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності" досліджується актуальність контролю за витоками води в різних галузях промисловості. Втрата води через протікання може призводити до значних фінансових витрат, порушення технологічних процесів і негативного впливу на екологію. Робота має на меті розробку та вдосконалення засобу контролю, що використовує метод електролітичної провідності. У першій частині роботи проведено огляд сучасних методів контролю протікання води, виявлено їх переваги та недоліки, а також обґрунтовано доцільність використання електролітичної провідності. Друга частина присвячена теоретичним основам електролітичної провідності, розробці моделі пристрою та принципової схеми. У третій частині проведено експериментальне дослідження, в рамках якого вимірювалась провідність води в різних умовах. Результати експериментів показали, що розроблений засіб має високу чутливість і точність, а також можливість безперервного моніторингу.

Отримані дані свідчать про переваги методу електролітичної провідності над традиційними способами контролю витоків. Дослідження має практичне значення для впровадження в промисловості, що дозволить зменшити витрати на водопостачання та підвищити ефективність контролю за витоками.

Ключові слова: електролітична провідність, контроль протікання води, сенсори провідності, система контролю, автоматизований моніторинг, економічна ефективність.

ABSTRACT

Melnyk O.O. Water Leakage Control Device Based on Electrolytic Conductivity. Master's Qualification Work in Specialty 175 – Information and Measurement Technologies, Educational Program – Computerized Information and Measurement Technologies. Vinnytsia: VNTU, 2024. 111 pages. In Ukrainian. Bibliography: 35 titles; illustrations: 22; tables: 17.

The master's qualification work "Water Leakage Control Device Based on Electrolytic Conductivity Method" investigates the relevance of monitoring water leaks in various industrial sectors. Water loss due to leakage can lead to significant financial costs, disruption of technological processes, and adverse environmental impacts. The work aims to develop and improve a control device using the electrolytic conductivity method. The first part of the work reviews modern water leakage control methods, identifies their advantages and disadvantages, and substantiates the feasibility of using electrolytic conductivity. The second part is devoted to the theoretical foundations of electrolytic conductivity, the development of a device model, and a schematic diagram. The third part presents experimental research, during which water conductivity was measured under various conditions. The experimental results demonstrated that the developed device has high sensitivity and accuracy, as well as the capability for continuous monitoring.

The data obtained highlights the advantages of the electrolytic conductivity method over traditional leakage control methods. This research has practical significance for industrial implementation, offering potential cost reductions in water supply and improved efficiency in leakage control.

Keywords: electrolytic conductivity, water leakage control, conductivity sensors, control system, automated monitoring, economic efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА СУЧАСНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ	11
1.1 Сучасні методи контролю протікання води	11
1.2 Методи, що базуються на фізичних принципах.....	11
1.3 Методи, що базуються на хімічних принципах	14
1.4 Гібридні методи.....	18
1.5 Порівняння сучасних методів контролю протікання води	19
1.6 Порівняння за різними критеріями.....	26
1.8 Висновки до розділу.....	38
2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ	39
2.1 Постановка задачі.....	39
2.2 Алгоритм роботи засобу контролю протікання води	40
2.3 Перспективи вдосконалення та масштабування засобу контролю протікання води	41
2.4 Процес розробки засобу контролю протікання води.....	44
2.5 Загальна схема роботи засобу контролю протікання води	47
2.6 Висновки до розділу.....	54
3 ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	55
3.1 Порядок проведення експериментів.....	55
3.2 Розробка методики проведення експериментів	58
3.3 Аналіз отриманих результатів	60
3.4 Метрологічне забезпечення розробленого засобу контролю протікання води	69
3.6 Висновки до розділу.....	74
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	75
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	75

4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	76
4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	78
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	91
4.5 Висновки до розділу.....	95
ВИСНОВКИ	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	99
Додаток А(обов'язковий) Ілюстративна частина.....	103
Додаток Б(обов'язковий) Протокол перевірки роботи.....	108
Додаток В(довідниковий) Фрагмент роботи програмного забезпечення. Зчитування даних із сенсора, перевірка порогових значень, сигналізацію, збереження даних та їх виведення.....	110

ВСТУП

Актуальність роботи. Контроль протікання води є критично важливим для забезпечення безпеки та ефективності в багатьох галузях, таких як енергетика, будівництво, хімічна промисловість, а також у системах водопостачання та водовідведення. Втрата води через витоки може призвести до значних фінансових витрат, порушення технологічних процесів та негативних екологічних наслідків. Ефективний моніторинг витоків допомагає запобігти аварійним ситуаціям, зберегти ресурси та забезпечити стабільну роботу підприємств. Сучасні методи контролю протікання води, такі як акустичні, ультразвукові та гравіметричні, мають свої переваги, але також супроводжуються значними недоліками. Наприклад, акустичні методи можуть бути ненадійними в шумних середовищах, а ультразвукові системи часто потребують високих витрат на установку та обслуговування. Хімічні методи контролю можуть бути небезпечними та вимагають складних процедур. Ці недоліки підкреслюють необхідність розробки нових, більш ефективних рішень для виявлення витоків. Електролітична провідність як метод контролю протікання води пропонує нові можливості для підвищення ефективності виявлення витоків. Цей метод базується на зміні електричної провідності води, що дозволяє здійснювати моніторинг у реальному часі. Він є простим у використанні, швидким та економічним, що робить його привабливим для впровадження в різні галузі промисловості. Використання електролітичної провідності може суттєво покращити якість контролю, зменшити витрати на обслуговування та забезпечити більш надійні рішення для управління водними ресурсами.

Мета даного дослідження полягає у створенні новітнього засобу контролю протікання води, який базується на принципах електролітичної провідності. Це дослідження передбачає не лише теоретичну розробку, але й практичне впровадження, що має на меті досягнення кількох ключових аспектів:

Дослідження починається з глибокого аналізу принципів електролітичної

провідності, вивчення фізико-хімічних характеристик водних розчинів, а також законів Фарадея та Ома. Цей етап передбачає виявлення оптимальних умов для вимірювання провідності води, що допоможе підвищити точність та чутливість нового засобу.

Об'єктом дослідження є процеси, пов'язані з контролем протікання води в різних галузях промисловості. Це включає в себе різноманітні аспекти, такі як виявлення та моніторинг витоків води, управління водними ресурсами, а також забезпечення безпеки і ефективності виробничих процесів. Дослідження охоплює як теоретичні, так і практичні питання, що стосуються методів контролю, їхньої ефективності та впливу на економічні та екологічні показники.

Предметом дослідження є засіб контролю протікання води, що базується на методі електролітичної провідності. Це специфічний пристрій, який призначений для виявлення витоків води шляхом вимірювання змін електричної провідності в рідині. Вивчення предмета дослідження включає в себе розробку, тестування та вдосконалення цього засобу, а також аналіз його характеристик, переваг та недоліків у порівнянні з іншими існуючими методами контролю.

Методи дослідження. Теоретичні методи дослідження включають в себе аналіз літератури, що стосується сучасних методів контролю протікання води, принципів електролітичної провідності, а також пов'язаних наукових публікацій. Цей етап передбачає вивчення наукових статей, монографій, дисертацій та інших джерел інформації для формування бази знань про існуючі технології, їх переваги та недоліки. Аналіз літератури дозволить окреслити контекст дослідження, виявити прогалини в існуючих знаннях і визначити необхідність розробки нового засобу контролю. Експериментальні (лабораторні вимірювання, аналіз результатів експериментів). Експериментальні методи включають в себе: Лабораторні вимірювання: проведення серії експериментів для вимірювання електричної провідності води в різних умовах (зміни температури, складу води тощо). Це дозволить оцінити чутливість і точність розробленого засобу контролю протікання води.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше запропоновано та розроблено метод вимірювання електропровідності в умовах змінного середовища, особливістю якого є конструктивне виконання електродних комірок, що дозволило мінімізувати вплив зовнішніх електрохімічних та термодинамічних процесів і як наслідок підвищити точність.

Практичне значення магістерської роботи. Створено засіб, який дозволяє оперативно виявляти протікання води за допомогою методу електролітичної провідності. Пристрій має високу чутливість і точність, що дозволяє використовувати його для моніторингу в реальному часі. Розроблений засіб може бути інтегрований у системи водопостачання, тепlopостачання та технологічного обладнання, що дозволить своєчасно виявляти витoki та запобігати аваріям. Завдяки низькій вартості компонентів і простоті конструкції, засіб може використовуватися як у побутових умовах, так і на підприємствах, забезпечуючи економію ресурсів і зменшуючи витрати на ремонтні роботи.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА СУЧАСНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ

1.1 Сучасні методи контролю протікання води

Протікання води в системах водопостачання та водовідведення — це важлива проблема, що може призводити до значних економічних втрат, забруднення навколишнього середовища та пошкодження інфраструктури. З цієї причини розробка ефективних методів виявлення витоків води є критично важливою для забезпечення безперервного та безпечного водопостачання. В умовах швидкого розвитку новітніх технологій з'являються нові підходи до контролю витоків, що базуються на різноманітних фізичних, хімічних і електрохімічних принципах.

1.2 Методи, що базуються на фізичних принципах

Фізичні методи виявлення витоків, такі як акустичні, ультразвукові та гравіметричні, активно використовуються в промисловості та комунальних системах завдяки своїй надійності та можливості проведення безконтактних вимірювань. Однак вони мають певні обмеження, що визначає потребу в доповненні їх новими методами, зокрема такими, як методи, засновані на електролітичній провідності.

Інфрачервоні (ІЧ) методи використовують теплове випромінювання для виявлення витоків води. Вода, яка витікає з труб або обладнання, зазвичай має іншу температуру в порівнянні з навколишнім середовищем. Камери тепловізійного типу можуть виявляти ці температурні аномалії, що свідчать про витіки. Інфрачервоні методи використовують принцип виявлення температурних аномалій у трубопроводах або конструкціях, що спричинені витіками води. Це зумовлено тим, що вода, яка витікає з труб, зазвичай має іншу температуру порівняно з навколишнім середовищем. Камери, що працюють в

інфрачервоному діапазоні, дозволяють з точністю визначити місця, де відбуваються температурні зміни, спричинені витоками води. Інфрачервоні камери, які чутливі до різниць температур, реєструють тепло, що виділяється з місця витоку або від води, що протікає через трубопроводи. Завдяки високій роздільній здатності таких камер, можна точно визначити місце протікання навіть на значній відстані.

Переваги: Можливість виявлення витоків на великих площах та в труднодоступних місцях. Безконтактний метод вимірювання, що не потребує прямого контакту з водою чи обладнанням.

Недоліки: Обмеження через вплив температури навколишнього середовища. Витоки можуть бути не завжди помітними, якщо температура навколишнього середовища близька до температури води.

Метод теплових потоків полягає в застосуванні датчиків тепла для виявлення змін температури у водопровідних мережах, що виникають через витоки. При витоку вода, яка рухається по трубах, змінює теплові характеристики і цей ефект може бути зафіксований. Метод теплових потоків використовує спеціальні датчики для вимірювання тепла, що передається через матеріали або середовище. Цей метод є підвидом тепловізійних технологій і здатний виявляти навіть мінімальні зміни температури у трубопроводах, що свідчать про наявність витоків води. Витік води створює зміни температури в навколишньому середовищі, і це явище можна відстежувати за допомогою спеціальних сенсорів. Метод заснований на вимірюванні потоку тепла, який утворюється в результаті витоку води. Коли вода витікає, вона може змінювати температуру трубопроводів або навколишнього середовища, і ці зміни можуть бути зафіксовані датчиками[1].

Переваги: Можливість виявлення малих витоків, які можуть бути пропущені іншими методами. Дозволяє виявляти проблеми в складних і важкодоступних місцях.

Недоліки: Висока вартість обладнання. Необхідність в специфічних умовах для досягнення високої точності вимірювань. Акустичні методи базуються на

реєстрації звукових хвиль, що утворюються внаслідок протікання води через тріщини або дефекти в трубопроводах. Зазвичай використовуються мікрофони або спеціальні датчики, які дозволяють виявити ці звукові коливання.

Переваги: Акустичні методи не потребують контакту з водою, що знижує ризик забруднення та полегшує використання в різних умовах. Вони можуть виявляти витoki на значних відстанях від джерела витoku, особливо в великих міських мережах.

Недоліки: Система може бути чутливою до зовнішнього шуму, що може значно впливати на точність виявлення витоків. Акустичні методи менш ефективні в шумних або вібруючих середовищах, таких як в межах великих промислових зон або в прибережних районах з високим рівнем звукових перешкод.

Ультразвукові методи використовують високочастотні звукові хвилі для діагностики протікання води. Ультразвукові датчики можуть виявляти не лише наявність витоків, а й змінювати характеристики звуку в залежності від стану трубопроводу.

Переваги: Висока точність та чутливість до навіть незначних витоків води. Можливість детекції витоків у важкодоступних ділянках системи, де традиційні методи не можуть бути застосовані.

Недоліки: Вимагає спеціального обладнання, яке може бути дорогим та потребувати періодичного обслуговування. Оскільки ультразвукові хвилі можуть деформуватися внаслідок різних середовищ, система вимагає регулярного калібрування для підтримки високої точності.

Гравіметричні методи вимірюють зміни в масі об'єкта, викликані проникненням води або її витокom з системи. Це прості методи, які використовуються, зокрема, для визначення зміни ваги споруд чи трубопроводів.

Переваги: Простота в реалізації та низька вартість. Не потребує складного обладнання для вимірювань.

Недоліки: Обмежена чутливість до малих витоків. Можливість спотворення результатів через вплив інших факторів, зміни температури або вологості.

1.3 Методи, що базуються на хімічних принципах

У хімічних методах використовуються індикатори та реактиви, здатні змінювати свої властивості в залежності від складу води, зокрема при виникненні витоків або забруднень. Методи з використанням хімічних індикаторів.

Індикатори — це спеціальні речовини, які змінюють колір або інші фізико-хімічні властивості в залежності від присутності певних компонентів у воді.

Переваги: Простота в реалізації та використанні, низька вартість. Можливість візуального контролю, що не вимагає спеціального обладнання.

Недоліки: Точність може бути знижена через вплив зовнішніх факторів, таких як температура або рН води. Обмежена ефективність у кількісному аналізі — індикатори можуть лише вказати на наявність або відсутність витoku.

Методи з використанням реактивів ґрунтуються на хімічних реакціях, що відбуваються між спеціальними реактивами та компонентами води, що свідчать про наявність витоків.

Переваги: Висока точність і чутливість до наявності специфічних забруднювачів. Можливість кількісного визначення концентрації забруднень.

Недоліки: Потребують використання спеціального обладнання для аналізу. Хімічні реактиви можуть бути небезпечними та вимагати дотримання специфічних заходів безпеки.

Одним із хімічних методів є використання флуоресцентних барвників, які додаються до води для виявлення витоків. Барвники мають властивість світитися при ультрафіолетовому випромінюванні, що дозволяє їх легко виявити у місцях, де вода протікає. Метод з використанням флуоресцентних барвників є одним із простих, але ефективних способів виявлення витоків води в інженерних системах. Барвники додаються до води, і в разі витoku їх можна виявити за допомогою спеціального ультрафіолетового обладнання, оскільки ці речовини випромінюють світло в присутності УФ-випромінювання.

При витoku води барвник, що містить флуоресцентні молекули, потрапляє в навколишнє середовище, де його можна зафіксувати за допомогою

ультрафіолетових сенсорів. Це дозволяє точно виявити місце витoku навіть у труднодоступних місцях.

Переваги: Висока чутливість та точність виявлення витоків. Легкість у застосуванні та доступність.

Недоліки: Можливість забруднення навколишнього середовища, якщо барвник потрапить у природні водоймища. Обмеження у використанні в умовах великих обсягів води або на великих територіях.

Для виявлення витоків можна використовувати методи тестування води на наявність важких металів або токсичних елементів, таких як свинець, ртуть чи кадмій. При витoku з трубопроводів, особливо старих або пошкоджених, ці елементи можуть потрапляти в воду, що дозволяє використовувати їх як індикатори. Виявлення важких металів та токсичних речовин є важливим аспектом виявлення витоків води, зокрема у промислових системах. Метали, такі як свинець або ртуть, можуть потрапляти в систему водопостачання через пошкодження труб або забруднення навколишнього середовища, тому їх наявність може свідчити про витoki. За допомогою спеціальних тестів та реагентів здійснюється вимір концентрацій токсичних елементів у воді. Високі концентрації важких металів або токсичних сполук можуть свідчити про наявність витoku в системі.

Переваги: Можливість одночасного виявлення витоків та забруднення води. Висока точність виявлення.

Недоліки: Необхідність у використанні спеціалізованого обладнання для проведення аналізів. Витoki можуть бути виявлені лише в разі значного забруднення.

Електрохімічні методи, такі як вимірювання електропровідності та електрохімічного імпедансу, є одними з найбільш ефективних інструментів для контролю протікання води, завдяки їх високій чутливості до змін у складі води. Електропровідність визначає здатність води проводити електричний струм, що залежить від кількості іонів у воді. Зміни в електропровідності можуть свідчити про зміни складу води через витoki або забруднення.

Переваги: Швидкість вимірювань та можливість безперервного моніторингу. Висока чутливість до незначних змін у складі води.

Недоліки: Вплив температури на результати вимірювань може бути значним. Необхідність регулярного калібрування обладнання для забезпечення точності[2].

Електрохімічний імпеданс дозволяє досліджувати електричну реакцію на змінний струм, аналізуючи взаємодію між іонами та електродами. Цей метод дає детальніші дані про склад води, дозволяючи виявляти специфічні забруднення та витoki.

Переваги: Висока точність і можливість виявлення навіть незначних змін у воді. Може бути використаний для аналізу складних середовищ з багатьма компонентами.

Недоліки: Необхідність складного обладнання та спеціальних знань для аналізу. Витрати на технічне обслуговування та калібрування.

Диференціальна електрохімічна імпедансна спектроскопія — це метод, який дозволяє отримувати точні характеристики електричних властивостей матеріалів, що контактують з водою. Зміни в цих властивостях можуть свідчити про витoki. Цей метод є дуже чутливим і дозволяє виявляти навіть мінімальні зміни в складі води. Метод диференціальної електрохімічної імпедансної спектроскопії (DEIS) є одним із передових способів для виявлення витоків і забруднень у воді. Він полягає в вимірюванні електричних властивостей води, таких як імпеданс, що змінюються в залежності від складу води та наявності витоків. DEIS заснований на зміні електричного імпедансу, що спостерігається на межі розділу фаз (наприклад, між водою та електродом). Зміни у складі води (кількість іонів, рН тощо) призводять до змін імпедансу, що дозволяє точно виявляти витoki.

Переваги: Висока точність виявлення витоків. Можливість аналізу складних водних систем.

Недоліки: Необхідність у складному та дорогому обладнанні. Висока складність у проведенні тестів і аналізі результатів.

Математичні моделі та комп'ютерні симуляції відіграють важливу роль у прогнозуванні і виявленні витоків води. Моделювання дозволяє аналізувати потоки води в трубопроводах, оцінювати зміни в складі води, а також прогнозувати можливі місця витоків. Такі моделі часто застосовуються у поєднанні з іншими методами контролю. У сучасних технологіях часто використовуються математичні моделі для прогнозування та виявлення витоків. Моделювання потоків води та механізмів витоків дає змогу не тільки виявляти, але й передбачати майбутні витoki, що важливо для підтримки цілісності інфраструктури. Математичні моделі допомагають змодельовати рух води по трубопроводах і визначити можливі місця протікання. Ці моделі враховують різні фактори, такі як тиск, температура, склад води, розміри та стан труб.

Переваги: Можливість прогнозування витоків у реальному часі. Аналіз даних з різних джерел (сенсорів, теплових камер, даних про тиск тощо). Математичні моделі можуть бути інтегровані з реальними даними від датчиків, що дозволяє створювати системи для реального часу, які прогнозують й виявляють витoki до того, як вони стануть серйозною проблемою. Дозволяють прогнозувати місця витоків у масштабах мережі або навіть на рівні великої території. Знижують витрати на обслуговування інфраструктури, оскільки можна оптимізувати планування та проведення профілактичних робіт.

Недоліки: Необхідність висококваліфікованих спеціалістів для створення та аналізу моделей. Потрібні великі обчислювальні ресурси для проведення точних симуляцій. Необхідність наявності точних і актуальних даних для моделювання, оскільки неправильні вхідні параметри можуть призвести до помилкових результатів. Висока складність моделювання при наявності багатьох змінних і факторів (наприклад, різноманітні матеріали труб, різні режими експлуатації тощо). Потреба в потужному комп'ютерному обладнанні для здійснення розрахунків у реальному часі.

Завдяки розвитку технологій аерофотозйомки та супутникових технологій, з'явилася можливість дистанційно виявляти витoki води, особливо на великих територіях або в складних умовах, де неможливе використання інших методів.

Переваги: Можливість моніторингу великих територій і зон, що важко доступні. Безконтактний спосіб отримання даних.

Недоліки: Залежність від погодних умов, що може обмежити точність. Необхідність обробки великої кількості даних, що може бути ресурсозатратним. Використання методів штучного інтелекту та машинного навчання

Сучасні досягнення в галузі штучного інтелекту та машинного навчання можуть бути використані для автоматичного аналізу даних, отриманих від різних методів контролю за витоками води. Алгоритми машинного навчання можуть обробляти великі обсяги інформації і виявляти навіть неочевидні закономірності, що дозволяє підвищити точність виявлення витоків.

Переваги: Зменшення людської помилки в аналізі даних. Швидке виявлення аномалій і витоків.

Недоліки: Потрібні значні обчислювальні потужності для обробки даних. Необхідність наявності великих обсягів якісних даних для тренування моделей.

1.4 Гібридні методи

Гібридні методи контролю протікання води використовують комбінацію різних технологій і підходів для забезпечення високої точності та надійності виявлення витоків. Такий підхід дозволяє мінімізувати обмеження кожного методу та підвищити ефективність моніторингу.

У деяких випадках комбінування акустичних та ультразвукових технологій дозволяє значно підвищити точність і чутливість до витоків. Акустичні датчики виявляють звукові хвилі, що виникають внаслідок протікання води, а ультразвукові датчики можуть доповнювати ці дані, надаючи більш точну інформацію про глибину або характер дефекту.

Переваги: Підвищена точність у виявленні витоків. Можливість застосування в умовах з високим рівнем шуму, де один із методів може не дати точного результату.

Недоліки: Потреба в більш складному і дорогому обладнанні. Висока

вартість і складність в обслуговуванні. Комбінація хімічних та електрохімічних методів

Інтеграція хімічних методів (наприклад, використання індикаторів або реактивів) з електрохімічними методами (як-от вимірювання електричної провідності або електрохімічного імпедансу) дає змогу значно покращити точність виявлення витоків води, особливо у випадках, коли необхідно визначити присутність конкретних забруднювачів чи йонів у воді.

Переваги: Можливість точного визначення не лише витоків, а й типу та характеру забруднення. Здатність виявляти специфічні речовини, що можуть бути результатом витоків, такі як важкі метали або хімічні сполуки.

Недоліки: Висока вартість обладнання та необхідність регулярного технічного обслуговування. Потреба у спеціалізованому персоналі для проведення аналізу та інтерпретації результатів[3].

Математичні моделі в поєднанні з даними від сенсорів в режимі реального часу створюють потужні системи моніторингу витоків. Ці системи можуть бути інтегровані з різними методами вимірювань, такими як акустичні, ультразвукові, або методи на основі електропровідності.

Переваги: Можливість створення систем прогнозування витоків за допомогою інтеграції даних з різних датчиків. Підвищення надійності та точності системи завдяки використанню даних у реальному часі для моделювання можливих витоків.

Недоліки: Висока складність розробки таких систем. Висока вартість впровадження та обслуговування.

1.5 Порівняння сучасних методів контролю протікання води

Контроль за витоками води є важливим етапом у забезпеченні ефективної роботи водопостачальних систем, оскільки витoki води не лише призводять до значних економічних втрат, а й можуть сприяти зниженню якості води, забрудненню навколишнього середовища та збільшенню навантаження на

інфраструктуру. Для виявлення витоків води застосовуються різні методи, кожен з яких має свої переваги, обмеження та специфічні умови застосування. У цьому розділі розглянемо основні методи контролю протікання води, порівняємо їх за кількома критеріями, такими як точність, чутливість, вартість, складність впровадження, здатність працювати в складних умовах та можливості інтеграції з іншими технологіями. Точність та чутливість є найважливішими критеріями при виборі методу контролю витоків води. Деякі методи здатні виявляти навіть мінімальні витoki на ранніх стадіях, тоді як інші можуть виявляти лише значні протікання.

Акустичні методи: Акустичні датчики дуже чутливі до звукових хвиль, що виникають при витoku води. Вони дозволяють виявляти протікання навіть на значних відстанях, але їх чутливість може знижуватися через зовнішні шуми або вплив різних матеріалів трубопроводів. Акустичні методи особливо ефективні для виявлення витоків у водопровідних мережах, але менш чутливі до малих витоків.

Ультразвукові методи: Ультразвукові методи мають високу чутливість і точність, здатні виявляти навіть незначні витoki, що робить їх дуже ефективними для моніторингу складних систем водопостачання, де витoki можуть бути малими, але спричиняти великі проблеми у майбутньому. Вони можуть працювати на значних відстанях і у складних умовах, проте можуть бути чутливі до шумових перешкод і можуть вимагати точного налаштування обладнання. **Методи на основі електропровідності:** Вимірювання електричної провідності води є чутливим до змін складу води, особливо до наявності іонів, що виникають через витoki, але ці методи менш точні, якщо витік не змінює значення провідності в значній мірі. Вони можуть бути дуже ефективними для виявлення витоків у системах, де зміни у складі води значні.

Гравіметричні методи: Гравіметричні методи засновані на вимірюванні зміни маси конструкцій або водопостачальних систем внаслідок витоків. Це досить чутливий метод для великих витоків, але він не є ефективним для малих або повільних витоків. Крім того, на точність можуть впливати інші фактори,

такі як вологість або температура навколишнього середовища.

Хімічні методи (індикатори і реактиви): Хімічні індикатори та реактиви можуть точно виявляти витoki, оскільки вони реагують на конкретні компоненти води (наприклад, забруднюючі речовини або йони), що потрапляють з витокom. Проте ці методи мають обмежену чутливість до малих витоків і залежать від специфічних умов (pH, температура), що може обмежити їх застосування.

Акустичні методи: Акустичні методи є відносно недорогими в порівнянні з іншими методами, оскільки базуються на використанні звукових хвиль, і необхідне обладнання часто є доступним та досить дешевим. Однак потреба в спеціалізованих датчиках для різних умов може збільшувати вартість.

Ультразвукові методи: Ультразвукові методи вимагають більш дорогого обладнання, яке може бути складним в налаштуванні. Такі системи є дорогими для одноразового використання, але в довгостроковій перспективі вони можуть бути економічно вигіднішими завдяки їхній точності та здатності працювати в складних умовах[4].

Методи на основі електропровідності: Пристрої для вимірювання електричної провідності є порівняно доступними за ціною і можуть бути використані в системах, де є постійний моніторинг складу води. Однак для забезпечення високої точності і стійкості таких систем потрібне регулярне калібрування, що також може бути пов'язано з додатковими витратами.

Гравіметричні методи: Гравіметричні методи зазвичай є дешевшими в порівнянні з іншими методами, оскільки вони базуються на вимірюванні змін маси та не потребують дорогих сенсорів або технічного обладнання. Проте цей метод менш ефективний для малих витоків, що обмежує його застосування.

Хімічні методи: Хімічні індикатори та реактиви можуть бути дешевими в порівнянні з іншими методами, однак їх застосування потребує постійного оновлення матеріалів і реагентів, що з часом може збільшувати витрати. Крім того, ці методи можуть потребувати специфічних умов для точності результатів.

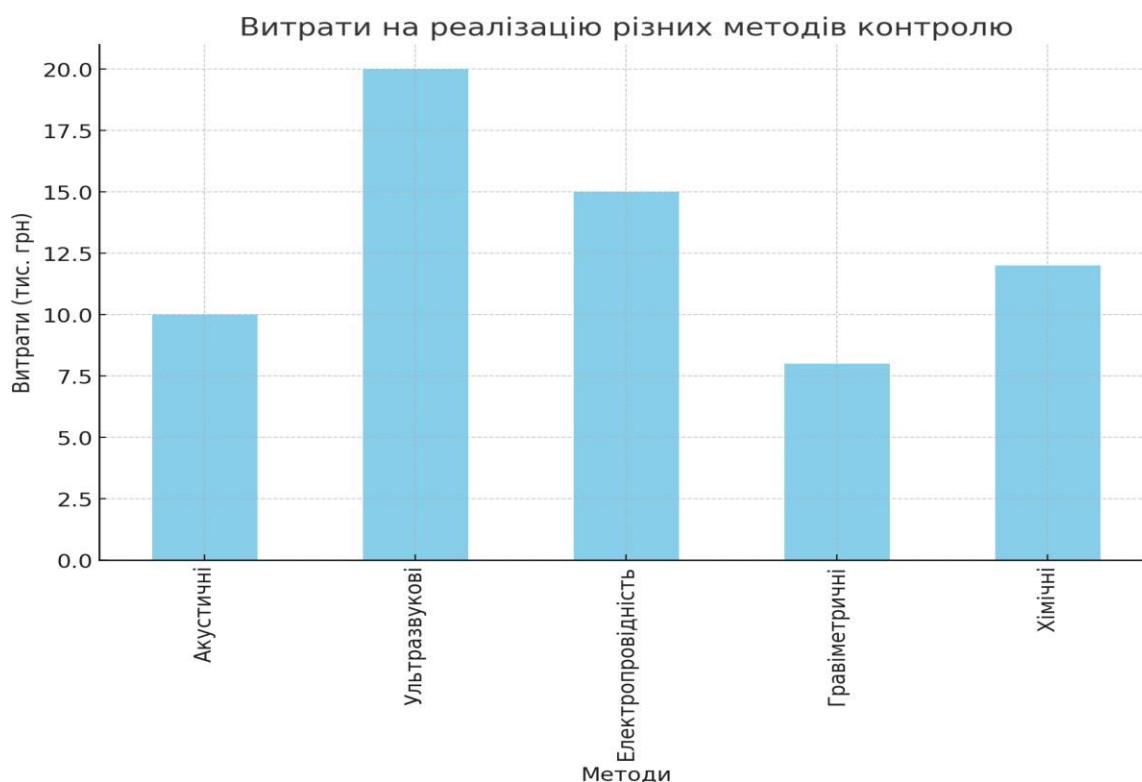


Рисунок 1.1 – Витрати на реалізацію різних методів контролю

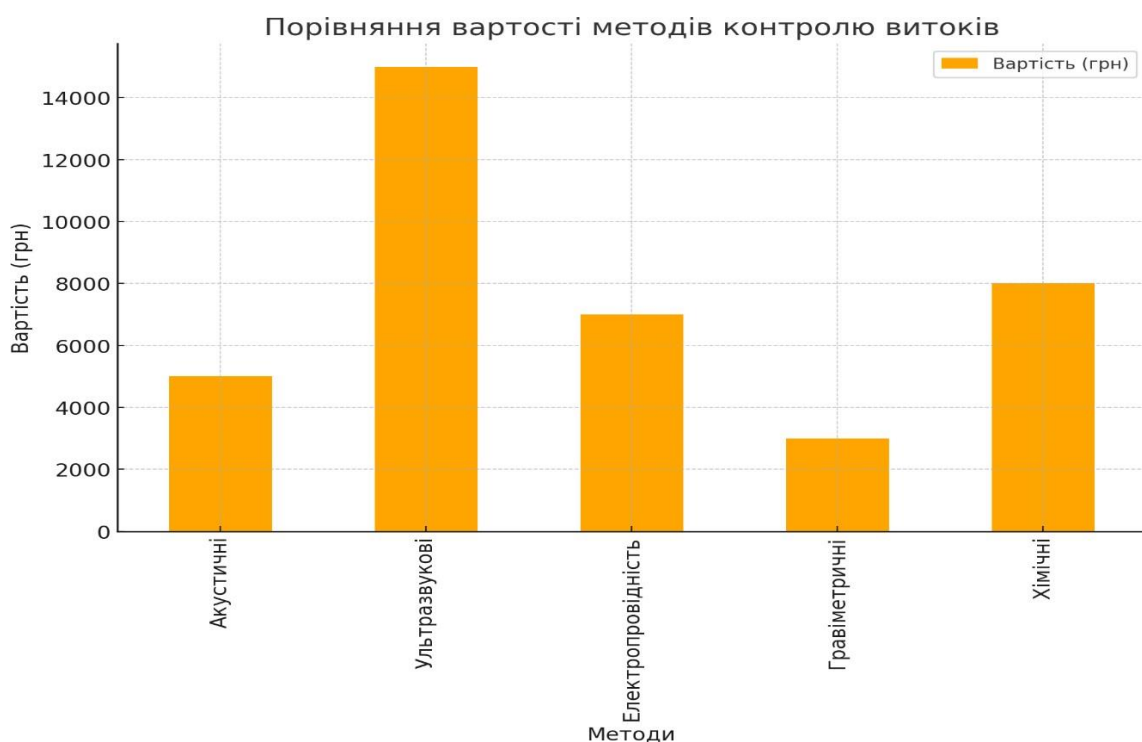


Рисунок 1.2 – Порівняння вартості методів контролю витоків

Простота використання та обслуговування відіграють важливу роль, оскільки більшість методів мають бути інтегровані в автоматизовані системи

моніторингу, що вимагає мінімальних зусиль з боку персоналу. Акустичні методи: Акустичні методи є простими в експлуатації, але вони вимагають досвідчених операторів для налаштування датчиків та інтерпретації результатів. Обслуговування такого обладнання є відносно простим і не потребує значних витрат. Ультразвукові методи: Ультразвукові методи вимагають точного налаштування та регулярного обслуговування, оскільки ультразвукові датчики можуть бути чутливими до зовнішніх факторів. Таке обладнання часто потребує кваліфікованого персоналу для коректної експлуатації та обслуговування.

Метод на основі електропровідності є досить простим у використанні і може автоматизувати процес вимірювань, однак пристрої потребують регулярного калібрування для забезпечення точних результатів. Обслуговування таких систем є відносно простим, але повинно здійснюватися регулярно для забезпечення стабільної роботи. Гравіметричні методи: Гравіметричні методи мають просту конструкцію і не потребують складного обслуговування, оскільки для їх використання достатньо стандартного обладнання для вимірювання маси. Проте цей метод обмежений лише для великих витоків і не є ефективним для повсякденного використання.

Хімічні методи: Хімічні індикатори та реактиви є простими в застосуванні, однак необхідно регулярно контролювати умови для точності результатів (рН, температура), а також оновлювати індикатори. Крім того, зберігання і утилізація реактивів потребують дотримання певних стандартів безпеки.

Цей критерій включає в себе здатність методу працювати в складних умовах, таких як важкодоступні місця, вплив агресивного середовища, температурні коливання або наявність сторонніх шумів. Акустичні методи: Акустичні методи можуть бути ефективними в складних умовах, таких як важкодоступні місця в підземних або закритих мережах. Вони дозволяють моніторити витoki без прямого контакту з водою. Однак ефективність цих методів значною мірою залежить від рівня навколишніх шумів, оскільки зовнішні звукові хвилі можуть заважати точності вимірювань. Вони також менш ефективні в умовах, де звукові хвилі поглинаються матеріалами труб або можуть

не досягати виявленого витoku через великі товщини або складні конструкції[5].

Ультразвукові методи: Ультразвукові датчики можуть працювати в складних умовах, таких як великі або складні інженерні системи водопостачання, навіть коли доступ до трубопроводів обмежений. Вони також здатні виявляти витoki у важкодоступних місцях, таких як підземні або закриті мережі. Проте ультразвукові хвилі можуть мати труднощі з проникненням через деякі матеріали труб або в умовах високих температур і вологості. У таких випадках ефективність ультразвукових методів може бути обмежена.

Методи на основі електропровідності: Цей метод є дуже чутливим до змін складу води, що може бути корисно для моніторингу в умовах агресивних або забруднених середовищ. Однак електрична провідність чутлива до температурних коливань, а також наявності сторонніх домішок у воді (наприклад, висока концентрація солей може змінити показники, навіть якщо витoku немає). Цей метод може бути менш ефективним у воді з низьким вмістом іонів, що обмежує його застосування в чистих водних системах або у випадках, коли вода не містить достатньої кількості солей чи інших електролітів.

Гравіметричні методи: Гравіметричні методи здатні працювати в складних умовах, таких як об'єкти з постійною зміною навколишнього середовища (температура, вологість). Однак вони можуть бути обмеженими у застосуванні в умовах, де зміни маси конструкцій або інфраструктури відбуваються дуже повільно або де витoki є дуже малими. Крім того, вони менш ефективні в умовах, коли потрібно контролювати багато точок протікання води одночасно.

Хімічні методи: Хімічні індикатори та реактиви мають специфічні вимоги до умов навколишнього середовища, такі як рівень рН або температура води. Вони можуть бути неефективними в екстремальних умовах, де швидко змінюється склад води. Вони також можуть бути менш точними, якщо використовувані реагенти не відповідають конкретним умовам води або якщо забруднення води є комплексним і включає велику кількість різних речовин. Проте хімічні методи можуть бути корисними в ситуаціях, де витoki містять специфічні забруднювачі, які можуть бути виявлені через зміну кольору або

інших фізико-хімічних властивостей індикаторів.

Інтеграція методів контролю витоків води з іншими технологіями автоматизації та моніторингу є важливим фактором для забезпечення ефективного управління водними ресурсами та зниження витрат на обслуговування систем. Акустичні методи: Акустичні датчики можуть бути інтегровані з автоматизованими системами моніторингу, що дозволяє здійснювати постійний контроль за станом трубопроводів та водопостачальних систем. Вони можуть працювати в режимі реального часу і передавати сигнали на центральну платформу, де оператори можуть швидко реагувати на зміни. Такі системи можуть включати автоматичну обробку даних для виявлення аномальних сигналів, що вказують на можливі витoki. Ультразвукові методи: Ультразвукові технології також можна інтегрувати в автоматизовані системи для моніторингу протікання води. Ці системи можуть забезпечувати безперервний контроль за виявленням витоків на різних етапах водопостачання та водовідведення. Вони дозволяють проводити не тільки виявлення витоків, але й аналізувати стан трубопроводів у реальному часі, що дає змогу оперативно реагувати на несправності або необхідність технічного обслуговування.

Методи на основі електропровідності: Цей метод може бути інтегрований в систему моніторингу якості води, де він буде забезпечувати постійний контроль за змінами складу води та визначати можливі забруднення або витoki. Крім того, метод може бути поєднаний з іншими технічними системами для підвищення точності виявлення витоків і попередження аварійних ситуацій.

Гравіметричні методи: Гравіметричні методи, хоча й менш популярні для автоматизації, все ж можуть бути використані в інтегрованих системах моніторингу, коли необхідно вимірювати зміни маси об'єктів або конструкцій внаслідок витоків води. Цей метод може бути використаний як доповнення до інших технологій, таких як акустичні або ультразвукові, для забезпечення більш точного контролю за великими обсягами води[6].

Хімічні методи: Хімічні індикатори та реактиви можуть бути поєднані з автоматизованими лабораторними системами для аналізу води в режимі

реального часу. Це дозволяє здійснювати не лише виявлення витоків, але й оцінку їх складу, що дає змогу провести необхідне очищення або вжити заходів для покращення якості води.

1.6 Порівняння за різними критеріями

Порівняння різних методів контролю протікання води показує, що вибір методу залежить від багатьох факторів, таких як точність, чутливість, вартість, умови експлуатації та можливість інтеграції з іншими системами. Кожен метод має свої переваги і обмеження, тому в багатьох випадках для досягнення максимальної ефективності доцільно використовувати їх комбінації або доповнення.

Таблиця 1.1 - Порівняння різних методів по критеріям

Критерії порівняння	Акустичні методи	Ультразвукові методи	Електропровідність	Гравіметричні методи	Хімічні методи
Точність	Середня	Висока	Середня	Низька	Середня
Чутливість	Середня	Висока	Середня	Низька	Середня
Вартість	Низька	Середня	Низька	Низька	Середня
Простота використання	Висока	Середня	Висока	Висока	Середня
Інтеграція з іншими технологіями	Легко інтегрується	Легко інтегрується	Легко інтегрується	Складна інтеграція	Складна інтеграція
Складні умови	Середня	Висока	Середня	Низька	Середня

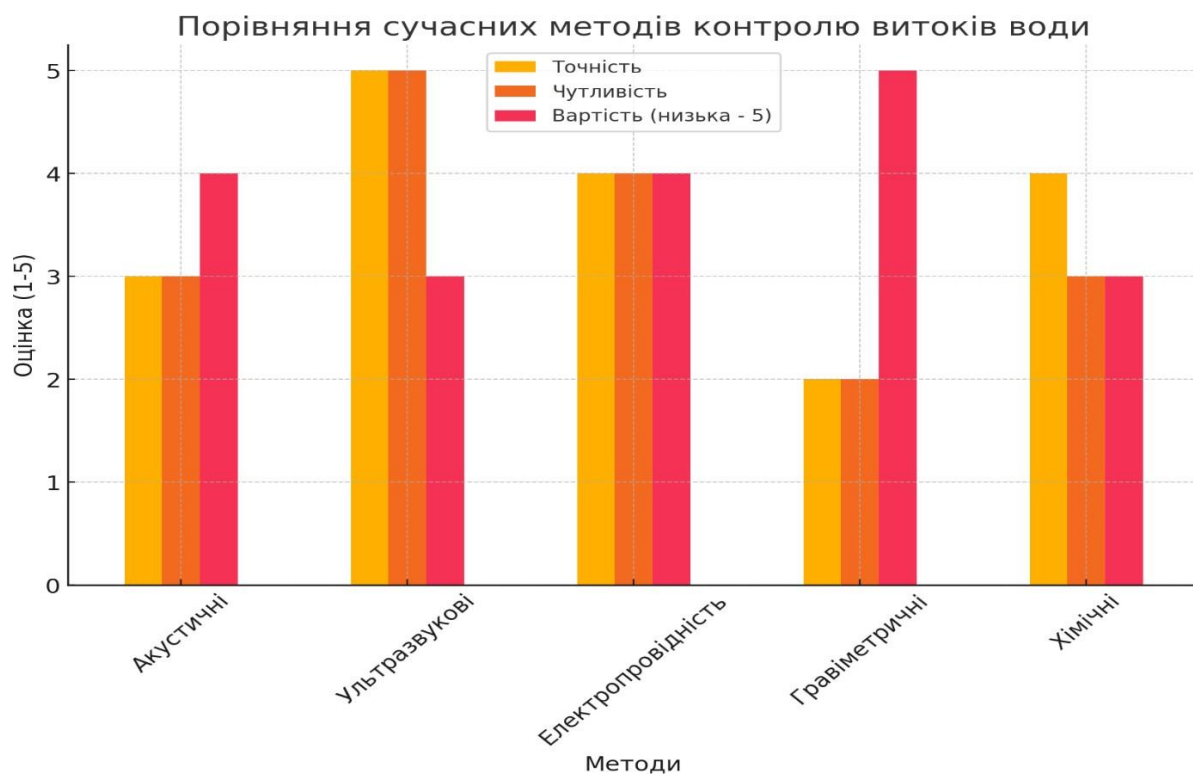


Рисунок 1.3 - Порівняння сучасних методів контролю витоків води

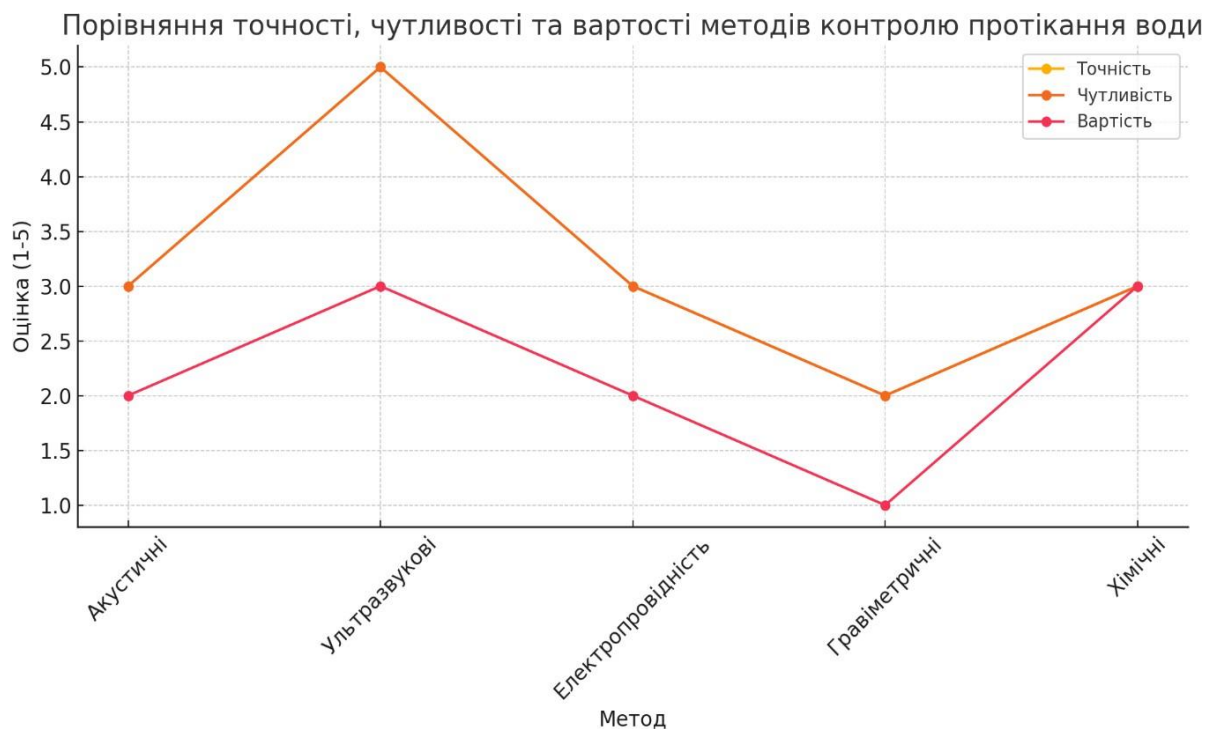


Рисунок 1.4 Порівняння точності, чутливості та вартості методів контролю протікання води.

Ультразвукові методи мають найвищу точність і чутливість, але також

вищу вартість. Акустичні методи збалансовані за всіма критеріями, але чутливість середня. Електропровідність має низьку вартість і хорошу простоту використання, але чутливість і точність — середні.

Електролітична провідність дозволяє здійснювати швидкі та точні вимірювання наявності витоків у водопостачальних системах завдяки її здатності реагувати на зміни складу води, зокрема на варіації в концентрації іонів. Цей

метод є надзвичайно чутливим до змін у складі води, що є важливим при моніторингу витоків води. Принцип роботи методу електролітичної провідності полягає в тому, що води з розчиненими в них іонами (наприклад, солі, кислоти

чи луги) проводять електричний струм. Більша концентрація іонів у воді збільшує її електропровідність, а зменшення концентрації іонів, наприклад, через витік, знижує цю провідність. Іонізація: Вода може містити різні типи іонів (катіони та аніони), які здатні проводити електричний струм. Зміна концентрації цих іонів, викликана витоком або забрудненням води, безпосередньо впливає на рівень електричної провідності. Для визначення електричної провідності

використовуються спеціальні сенсори, що подають електричний струм на електроди, які занурені у воду. Рівень електричного опору (R) визначає провідність (σ), що дозволяє робити висновки про рівень забруднення чи витoku.

Електролітична провідність змінюється також під впливом інших факторів, таких як температура води та рівень рН, що необхідно враховувати під час проведення вимірювань[7].

1.7 Переваги та недоліки методу електролітичної провідності

Переваги: Швидкість вимірювань: Метод дозволяє здійснювати вимірювання в реальному часі, що є великим плюсом для оперативного моніторингу. Чутливість: Електролітична провідність є дуже чутливою до малих змін у складі води. Це дозволяє виявляти навіть незначні витoki, що можуть залишатися непоміченими за іншими методами. Простота використання: Обладнання для вимірювання електропровідності зазвичай є компактним,

зручним у використанні та здатне до автоматизації, що дозволяє значно знизити трудовитрати. Можливість безперервного моніторингу: Оскільки метод не вимагає додаткових втручань після налаштування, його можна використовувати для постійного моніторингу стану водопровідних систем, що значно полегшує процес виявлення витоків[8].

Недоліки: Вплив зовнішніх факторів: Температура води та її хімічний склад можуть значно вплинути на точність результатів вимірювань. Вода з низьким вмістом іонів (наприклад, дистильована вода) має низьку провідність, тому метод може бути менш ефективним у таких умовах. Калібрування обладнання: Для досягнення точної роботи прилади необхідно регулярно калібрувати, щоб компенсувати зміни умов навколишнього середовища та забезпечити стабільність вимірювань. Обмеження для чистої води: Враховуючи, що метод залежить від наявності іонів у воді, у випадку з дуже чистою водою ефективність методу знижується, оскільки її електропровідність буде низькою[9].

Електролітична провідність має широке застосування в багатьох галузях, де важливо контролювати склад води або виявляти витoki та забруднення. Це основна сфера, де метод електролітичної провідності знаходить своє застосування. Системи водопостачання та водовідведення часто зазнають поривів або витоків, що можна швидко виявити через моніторинг змін у електричній провідності води. У разі витоків в трубопроводах, зміни у складі води (наприклад, потрапляння забруднень або зміна солевого складу) зумовлюють зростання або зменшення провідності води, що дозволяє локалізувати проблеми на ранніх етапах[10].

В електрохімічних процесах, таких як реакція нейтралізації чи обробка хімічних речовин, електролітична провідність є важливим параметром для контролю за концентрацією розчинених іонів. Зміни у складі рідин можуть свідчити про перебіг або порушення процесу, що також використовується для контролю якості продуктів. Метод електролітичної провідності також застосовується для моніторингу якості поливної води. Для точного оцінювання її властивостей, таких як вміст солей, що можуть впливати на родючість ґрунтів,

використовується цей метод. Водночас, метод дозволяє виявляти забруднення води у процесі поливу.

Використання методу електролітичної провідності в екологічних дослідженнях дозволяє швидко виявляти забруднення в природних водоймах. Зокрема, в річках та озерах, де може статися витік забруднюючих речовин, зміни в електричній провідності свідчать про зміни в хімічному складі води, що допомагає вчасно реагувати на екологічні загрози. Незважаючи на численні переваги методу електролітичної провідності, його застосування все ж має певні обмеження, які можуть бути подолані шляхом удосконалення технологій. Одним з таких напрямків є комбінування електролітичної провідності з іншими методами, такими як акустичні або ультразвукові технології, що дозволить підвищити точність виявлення витоків. Також варто зазначити, що технології на основі штучного інтелекту та машинного навчання мають значний потенціал для інтеграції з методами електролітичної провідності. Застосування цих технологій дозволить розробити прогнози щодо поведінки водних систем на основі вимірних даних, а також автоматично коригувати налаштування датчиків для максимальної точності.

Одним із найбільш перспективних напрямків розвитку сучасних методів контролю за витокami води є інтеграція електролітичної провідності з іншими технологіями. Це дозволяє підвищити точність, знизити ймовірність помилок та забезпечити більш комплексний підхід до моніторингу водних систем. Нижче розглядаються деякі з таких інтеграцій:

Акустичні методи + електролітична провідність: Інтеграція акустичних методів і методів електролітичної провідності дозволяє ефективніше виявляти витoki в складних водопровідних мережах, де акустичні хвилі можуть вказувати на місце витoku, а зміни в електропровідності підтверджувати чи спростовувати ці припущення. Поєднання цих двох методів дозволяє отримати більш точні дані, оскільки акустичний метод може виявляти початкові зміни, а електролітична провідність дає більш детальну картину змін у складі води.

Інтелектуальні системи на базі Інтернету речей (IoT): Сучасні технології

Інтернету речей дозволяють створювати мережі датчиків, що інтегруються в систему моніторингу якості води. Ці датчики можуть вимірювати електропровідність в реальному часі і автоматично передавати ці дані в централізовану систему для подальшої обробки. Це забезпечує постійний моніторинг і своєчасне реагування на будь-які зміни в складі води або появу витоків.

Геофізичні методи + електролітична провідність: Комбінація методів геофізичного дослідження та електролітичної провідності дає змогу не лише виявити витoki води, а й оцінити їхнє розповсюдження в ґрунті або підземних водах. Геофізичні методи, як правило, використовують електричні поля для дослідження стану ґрунту, що в поєднанні з вимірюваннями електричної провідності дає можливість отримати більше даних щодо природних умов місцевості[11]. Моделювання та комп'ютерні симуляції, засновані на даних про електролітичну провідність, можуть стати важливими інструментами для прогнозування витоків води в інфраструктурних системах. Сучасні програмні продукти дозволяють створювати детальні моделі водопровідних мереж, враховуючи різні фактори, такі як матеріал труб, їх стан, історія пошкоджень тощо. Моделювання на основі даних про електропровідність: Дані про зміни електричної провідності води можуть бути використані для побудови моделей поведінки системи. Це дозволяє передбачати, в яких місцях найімовірніше виникнуть витoki, а також допомагає в оптимізації обслуговування мережі.

Симуляція впливу витоків на довкілля: Вчені використовують моделі для вивчення того, як витoki води можуть впливати на екосистеми та навколишнє середовище, зокрема на рівень забруднення ґрунтів та водних ресурсів. Це дозволяє своєчасно вживати заходів для зниження впливу на навколишнє середовище. Сучасні технології для моніторингу водопостачання, зокрема методи на основі електролітичної провідності, продовжують розвиватися. Нові дослідження та розробки в цих напрямках відкривають перед нами нові можливості для точного та швидкого виявлення витоків води.

Нанотехнології: Використання наноматеріалів для створення більш

чутливих сенсорів може значно підвищити ефективність методу електролітичної провідності. Наночастинки, що вводяться в розчини, можуть допомогти виявляти навіть найменші зміни в концентрації іонів, що дозволяє розширити спектр застосування методу. Мобільні платформи та додатки: Використання мобільних додатків для збирання та аналізу даних про електричну провідність води стає все популярнішим. Це дозволяє операторам водопровідних систем або екологічним службам здійснювати моніторинг і виявлення витоків без необхідності у спеціалізованому обладнанні.

Автоматизація процесів: Завдяки розвитку автоматизованих систем моніторингу, отримання даних про електропровідність води може бути інтегровано з іншими параметрами, такими як температура, рівень рН та забруднення. Це дає змогу оперативно реагувати на всі зміни в системах водопостачання та водовідведення.

В останні роки було зроблено кілька значних технічних досягнень у використанні електролітичної провідності для контролю води. Зокрема, нові типи сенсорів і датчиків дозволяють більш точно вимірювати електричну провідність, забезпечуючи високу чутливість і стабільність показників. Важливим є також розвиток бездротових технологій для передачі даних, що дозволяє оперативно отримувати інформацію про стан водопостачання та реагувати на витoki води в реальному часі.

Безконтактні сенсори: Інновації у створенні безконтактних датчиків, які вимірюють зміни електропровідності без безпосереднього контакту з водою, відкривають нові можливості для дистанційного моніторингу. Такі сенсори можна використовувати в ситуаціях, коли доступ до водопроводу обмежений або небезпечний. Мініатюризація обладнання: Завдяки розвитку мікротехнологій, сенсори, що вимірюють електропровідність, стали набагато меншими та доступнішими для інтеграції в системи моніторингу. Це дозволяє використовувати такі сенсори навіть у найскладніших умовах, наприклад, в системах водопостачання, де встановлення великих датчиків є непрактичним.

Використання методу електролітичної провідності для виявлення витоків у

складних системах Електролітична провідність особливо корисна в складних та важкодоступних системах водопостачання та водовідведення, де традиційні методи можуть бути менш ефективними. Наприклад, в мережах з великою кількістю трубопроводів, водовідводів та віддалених ділянок електричні датчики можуть бути інтегровані для моніторингу у реальному часі, даючи змогу швидко реагувати на зміни в стані води та потенційні витіки[12]. Електролітична провідність (або електрична провідність) є важливим фізичним параметром, який використовується для контролю складу води. Він визначається здатністю води проводити електричний струм, що обумовлено наявністю іонів у розчині. Вода, яка містить різноманітні розчинені солі, кислоти чи основи, є електролітом, і її провідність зростає пропорційно концентрації іонів у воді.

Іонізація у воді: Вода може містити як органічні, так і неорганічні іони (наприклад, натрій Na^+ , хлор Cl^- , кальцій Ca^{2+} , сульфати SO_4^{2-}). Коли вода взаємодіє з електричним полем, молекули води дисоціюють на позитивні та негативні іони. Кількість цих іонів безпосередньо впливає на електричну провідність води. Вимірювання опору: Для вимірювання провідності використовуються спеціальні датчики, які складаються з двох електродів, занурених у воду. Вода, що містить іони, проводить струм між електродами, і на основі вимірювання електричного опору (R) визначається провідність.

Зміни провідності при витіках: Коли відбувається витік води, склад води може змінюватися (наприклад, через забруднення, наявність нових розчинених речовин або зміни у концентрації іонів), що призводить до зміни електричної провідності. Такі зміни можуть бути використані для визначення місця та обсягу витіку.

Переваги: Швидкість вимірювань: Метод електролітичної провідності є швидким, дозволяючи отримувати дані в реальному часі. Це є особливо важливим при моніторингу водопостачальних та водовідвідних систем, де своєчасне виявлення витоків критично важливе для запобігання значним збиткам. Чутливість: Провідність води дуже чутлива до змін у складі води. Витоки можуть спричинити як збільшення концентрації іонів (якщо в системі

з'являються забруднювачі або хімічні домішки), так і зменшення цієї концентрації. Зміни в провідності навіть на рівні кількох мікросіменсів можуть свідчити про проблему. Автоматизація та інтеграція: Цей метод добре піддається автоматизації, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг стану води в системах водопостачання та водовідведення. За допомогою сучасних технологій вимірювання провідності можна інтегрувати цей метод у загальні системи моніторингу інфраструктури для виявлення витоків води. Простота використання та доступність: Прилади для вимірювання електричної провідності є доступними за ціною і простими в експлуатації, що робить метод доступним для широкого використання в реальних умовах.

Недоліки: Вплив зовнішніх факторів: На електричну провідність можуть впливати зовнішні умови, такі як температура води, її рН, а також наявність інших розчинених речовин. Наприклад, температура води може змінювати швидкість руху іонів, а отже й її провідність, що потребує коригування даних у реальному часі або додаткового калібрування приладів. Обмеження за типами рідин: Метод є менш ефективним для чистої води, яка містить низьку концентрацію іонів, оскільки така вода має низьку провідність. У таких випадках результат може бути малорозбірливим, що ускладнює виявлення витоків у водопостачальних системах, де вода має високу чистоту.

Необхідність калібрування: Для забезпечення точних вимірювань, датчики провідності потребують регулярного калібрування. Це може додавати певні витрати і вимоги до підтримки точності результатів вимірювань. Чутливість до забруднень: У разі наявності великої кількості забруднень або домішок, що погіршують якість води, результати вимірювань можуть бути спотвореними. Тому для точності вимірювань необхідно враховувати рівень забруднення іонними речовинами.

Водопостачання та водовідведення: Метод електролітичної провідності є одним з основних інструментів для моніторингу якості води у водопостачальних мережах. Витоки, забруднення чи зміна складу води можуть змінювати її провідність, що дає змогу вчасно виявляти потенційні проблеми в системах

водопостачання та водовідведення. Зокрема, це застосовується для: Моніторинг забруднення води, особливо в умовах міської інфраструктури. Оцінка ефективності фільтраційних систем. Хімічна та фармацевтична промисловість: У хімічних та фармацевтичних процесах точний контроль за концентрацією різних компонентів води критично важливий. Електрична провідність може використовуватися для контролю за якістю води, що подається на виробничі лінії або використовується в процесах, де навіть незначні зміни концентрацій іонів можуть впливати на якість продукції.

Сільське господарство: У сільському господарстві метод електролітичної провідності застосовується для моніторингу якості поливної води та оцінки вмісту розчинених солей. Це важливо для: Оцінки ефективності зрошення. Визначення оптимального складу води для певних культур. Контролю за засоленням ґрунтів. Екологічний моніторинг: Електрична провідність використовується для моніторингу водних ресурсів, зокрема річок, озер та водосховищ. Зміни в провідності можуть свідчити про забруднення води, що дозволяє оперативно виявляти вплив антропогенної діяльності та вживати необхідні заходи для збереження екологічної рівноваги. Енергетика: У теплових та гідроелектростанціях водопостачання є критичним для охолодження технічних систем. Вимірювання електричної провідності допомагає контролювати якість охолоджувальної води, що може мати безпосередній вплив на ефективність та безпеку роботи станцій[13].

Метод електролітичної провідності має значний потенціал для подальшого розвитку. У найближчому майбутньому можна очікувати появу нових датчиків з більш високою чутливістю та точністю, які будуть здатні працювати в широкому діапазоні температур і в умовах підвищеної забрудненості води. Також розробка нових алгоритмів для обробки даних дозволить поліпшити точність виявлення витоків та забруднень, враховуючи різноманітні фактори, що можуть впливати на провідність, такі як температура або зміни в хімічному складі води.

Найближчі перспективи розвитку методу включають: Інтеграція з іншими методами: Поєднання електролітичної провідності з іншими методами, такими

як акустичні або ультразвукові технології, може значно покращити точність моніторингу та локалізації витоків. Системи, які інтегрують кілька методів, можуть більш ефективно виявляти витoki та зміни в складі води в реальному часі. Розвиток портативних та мобільних пристроїв: Важливим напрямком є розробка портативних і мобільних приладів для вимірювання провідності, які дозволяють здійснювати моніторинг в польових умовах без необхідності використання складного стаціонарного обладнання. Це дозволить швидко виявляти потенційні витoki у віддалених або важкодоступних місцях.

Автоматизація та інтеграція з Інтернетом Речей (IoT): Оскільки метод електролітичної провідності піддається автоматизації, його можна інтегрувати з системами Інтернету Речей (IoT) для забезпечення безперервного моніторингу стану водопостачальних та водовідвідних мереж. Дані з сенсорів можна буде аналізувати в реальному часі, передавати на сервери для обробки та аналізу, що дозволить виявляти витoki на ранніх етапах і реагувати оперативно.

Мінімізація впливу зовнішніх факторів: Одним із напрямків розвитку є зменшення чутливості до зовнішніх змін, таких як температура або зміни рН. Для цього можуть бути розроблені спеціалізовані датчики з покращеними характеристиками, які компенсуватимуть ці зміни автоматично, забезпечуючи точніші вимірювання навіть за умов зовнішніх коливань. Покращення точності в умовах низької провідності: Оскільки чиста вода має низьку електричну провідність, виявлення витоків у таких середовищах може бути складним. Один з можливих напрямків розвитку — це розробка сенсорів, які можуть працювати в умовах дуже низької провідності, використовувати більше параметрів для аналізу (наприклад, частотні характеристики) або застосовувати методи, які дозволяють визначати навіть мінімальні зміни.

Екологічні технології та збереження водних ресурсів: Електролітична провідність може стати основою для більш ефективних технологій моніторингу водних ресурсів у різних екосистемах. Це дасть змогу не лише контролювати забруднення води, а й зберігати водні ресурси, що є особливо актуальним в умовах глобальних змін клімату і зростаючого дефіциту прісної води. Метод

електролітичної провідності є одним з найбільш ефективних і доступних способів моніторингу води для виявлення витоків та забруднень. Він має ряд переваг, таких як висока чутливість до змін у складі води, швидкість вимірювань і здатність до інтеграції з іншими системами моніторингу. Однак, метод також має певні обмеження, пов'язані з впливом зовнішніх факторів і необхідністю калібрування пристроїв. З розвитком технологій, зокрема вдосконаленням сенсорів, автоматизацією процесів та інтеграцією з системами IoT, метод електролітичної провідності має значний потенціал для подальшого вдосконалення та розширення своїх застосувань у різних сферах, таких як водопостачання, хімічна промисловість, сільське господарство, екологія та енергетика. Цей метод є важливим елементом у системах моніторингу витоків води, оскільки дозволяє своєчасно виявляти проблеми на ранніх етапах, що значно знижує ризики екологічних катастроф, забезпечує ефективне використання водних ресурсів і зменшує витрати на ремонт.

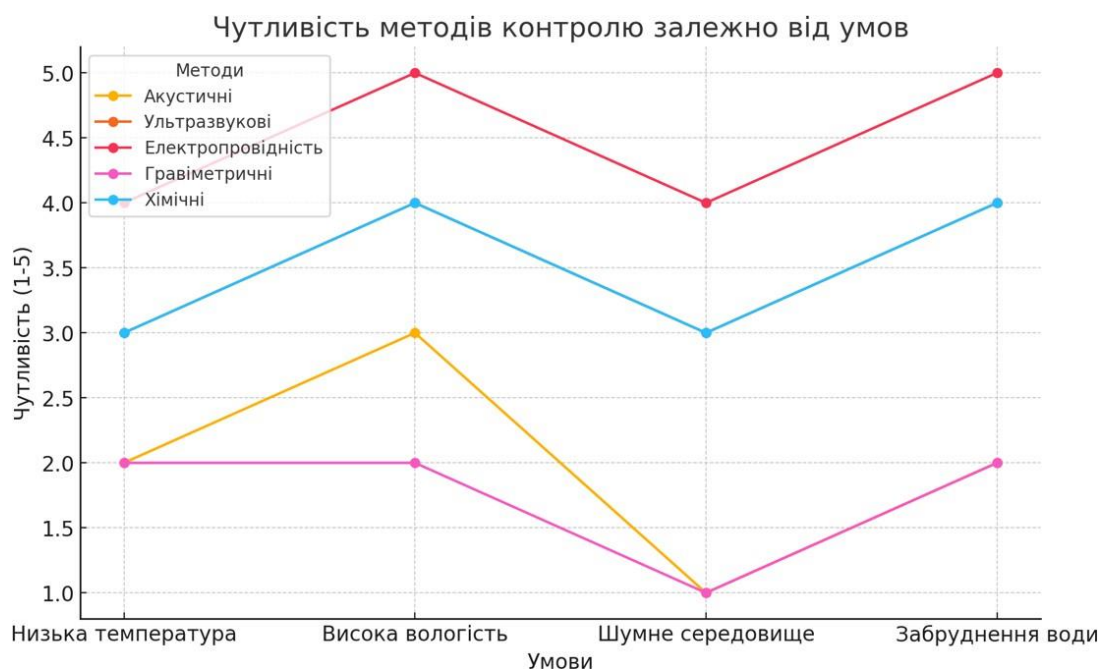


Рисунок 1.5 - Чутливість методів контролю залежно від умов

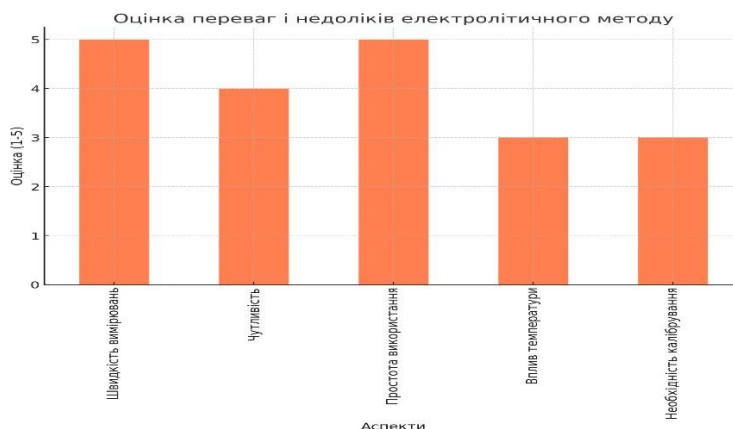


Рисунок 1.6 - Оцінка переваг і недоліків електролітичного методу

1.8 Висновки до розділу

У першому розділі проаналізовано широкий спектр сучасних методів контролю протікання води, включаючи фізичні, хімічні, гібридні підходи та математичні моделі. Встановлено, що фізичні методи, такі як акустичні та ультразвукові, мають перевагу у високій точності, але їх ефективність знижується в умовах шуму чи складної інфраструктури. Хімічні методи характеризуються простотою реалізації та низькою вартістю, проте вони обмежені через чутливість до зовнішніх факторів, таких як рН і температура води. Гібридні підходи, що поєднують кілька методів, демонструють найкращі результати у складних умовах, але вимагають значних фінансових і технічних ресурсів.

Особливу увагу приділено методам на основі електролітичної провідності. Цей підхід виділяється серед інших завдяки швидкості вимірювань, простоті використання, низькій вартості обладнання та можливості безперервного моніторингу. Метод виявився ефективним для виявлення змін у складі води, зокрема концентрації іонів, що є прямим індикатором витоків. Було визначено, що електролітична провідність має високий потенціал для інтеграції з автоматизованими системами моніторингу. У результаті проведеного аналізу доведено доцільність використання електролітичної провідності як основного методу для створення інноваційного засобу контролю протікання води.

2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ

У цьому розділі буде представлено розробку моделі засобу для контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності. Описано етапи проектування, вибір компонентів, алгоритм роботи системи, а також тестування та налаштування моделі. Основною метою цього розділу є створення прототипу пристрою для виявлення витоків води в системах водопостачання та водовідведення за допомогою вимірювання електролітичної провідності води.

2.1 Постановка задачі

Основним завданням є розробка ефективної системи для моніторингу витоків води, яка здатна виявляти зміни в електролітичній провідності води, викликані витокami чи забрудненнями. Система повинна працювати в реальному часі, бути здатною до автоматичної обробки даних і надсилати сповіщення про наявність проблем. Для досягнення цієї мети необхідно розробити: Систему вимірювання електричної провідності води. Алгоритм обробки та аналізу даних. Платформу для збору даних і відображення результатів моніторингу. Керуючий інтерфейс для користувачів.

В основу розробленої моделі засобу контролю протікання води покладено принцип електролітичної провідності, який дозволяє точно визначати рівень вологості у водопостачальних і водовідвідних системах. Пристрій складається з сенсорів провідності, мікропроцесора для обробки даних, а також інтерфейсу для виведення результатів вимірювань. Сенсори провідності: Вимірюють зміни електричної провідності води, яка є прямим індикатором її складу та концентрації іонів. Іонізація води змінюється у разі протікання води, що дозволяє виявляти витoki[14]. Мікропроцесор: Проводить обробку отриманих даних від сенсора провідності. Він використовує алгоритми для визначення типу і розміру витoku, а також передає цю інформацію на зовнішній пристрій чи інтерфейс.

Інтерфейс користувача: Виводить інформацію про стан водопостачання,

показники провідності та можливі місця витоків. Може бути як мобільним додатком, так і вбудованим дисплеєм на самому пристрої. Для розробки моделі засобу контролю протікання води були обрані основні компоненти, що забезпечують точність вимірювань, надійність роботи системи та можливість масштабування пристрою.

Розроблений засіб для контролю протікання води складається з кількох основних компонентів, які забезпечують високу точність вимірювань і стабільність роботи в реальних умовах. Електроди для вимірювання провідності: Це основний компонент, що безпосередньо вимірює рівень провідності води. Вони виготовляються з матеріалів, стійких до корозії та фізичних пошкоджень, таких як нікель або платина. Їх кількість і розташування залежать від необхідного рівня точності вимірювань і площі моніторингу. Система збирання та обробки даних: Всі дані, що надходять від електродів, збираються за допомогою мікроконтролера. Цей пристрій відповідає за обробку показників та їх порівняння з встановленими стандартами для виявлення відхилень. За допомогою мікроконтролера здійснюється передача даних до зовнішнього інтерфейсу.

Інтерфейс виведення інформації: Це може бути спеціалізований дисплей, який показує користувачу інформацію про стан водопостачання або смартфон, що приймає дані через Wi-Fi або Bluetooth. Інтерфейс надає зручний доступ до параметрів, таких як рівень провідності, місце витoku, статистика за період часу.

2.2 Алгоритм роботи засобу контролю протікання води

Алгоритм роботи системи контролю протікання води складається з кількох етапів, які забезпечують точне і швидке виявлення витоків: Збір даних: На першому етапі сенсори вимірюють провідність води, що протікає через систему. Дані зчитуються постійно, щоб виявити навіть найменші зміни у складі води. Обробка даних: Мікроконтролер порівнює отримані показники з попередніми даними. Якщо зміна провідності перевищує встановлений поріг (що свідчить про

витік), система сигналізує про аномалію. Аналіз і визначення типу витoku: Алгоритм аналізує різницю між нормальними значеннями та значеннями після виявлення витoku, визначаючи можливі причини зміни провідності (наприклад, наявність певних хімічних домішок або підвищений рівень води).

Сповіщення користувача: Коли витік виявлено, система автоматично відправляє повідомлення на мобільний додаток або дисплей, де користувач може переглянути точне місце витoku і параметри води в реальному часі. Для створення ефективного засобу контролю протікання води необхідно врахувати технічні вимоги до його роботи в різних умовах: Діапазон вимірювань провідності: Пристрій повинен бути здатним вимірювати різні рівні провідності в залежності від складу води. Це дозволяє пристрою працювати в різних умовах: від чистої води до води з високим рівнем солей.

Точність вимірювань: Для ефективного виявлення навіть малих витоків точність вимірювань повинна бути високою. Мінімальна похибка вимірювань повинна бути не більше 1-2%. Температурний діапазон: Оскільки водопостачальні системи можуть знаходитися в умовах з різними температурами, пристрій повинен працювати в температурному діапазоні від -10 до +50°C[15]. Потужність та енергоефективність: Для забезпечення безперебійної роботи в автономному режимі важливо, щоб система споживала мінімум енергії, особливо якщо мова йде про вбудовані пристрої з живленням від батарей.

2.3 Перспективи вдосконалення та масштабування засобу контролю протікання води

У майбутньому систему можна вдосконалити шляхом інтеграції з іншими типами датчиків для розширення можливостей моніторингу: Датчики тиску: Допоможуть виявляти падіння тиску в трубопроводах, що є характерним для витоків води. Поєднання даних про провідність та тиск дозволить більш точно визначати місця ймовірних витоків. Датчики температури: Зміни температури

води можуть свідчити про витік або аномалії в системі. Наприклад, якщо витік відбувається в умовах низьких температур, це може привести до швидкого охолодження води. Для зручності користувачів можна додати бездротові технології, які дозволять передавати дані з сенсорів без необхідності підключення до проводів. В основному використовуються такі технології:

Wi-Fi: для передачі даних на центральну платформу або мобільні пристрої.

Bluetooth: для з'єднання з близько розташованими пристроями та передачі даних на короткі відстані. Це дозволить здійснювати моніторинг у реальному часі з будь-якої точки, де є доступ до інтернету, без необхідності ручного зчитування показників.

Для досягнення високої точності вимірювань необхідно ввести автоматичне калібрування системи. Це дозволить враховувати зміни температури, рН та інших характеристик води, що можуть впливати на показники провідності. Відповідно, калібрування дозволить зберігати стабільність і точність роботи системи на всіх етапах експлуатації.

Для покращення ефективності системи можна використовувати методи машинного навчання, які допоможуть не тільки виявляти витіки, але й прогнозувати їх ймовірність у майбутньому. Це можливо завдяки накопиченню даних і аналізу патернів змін провідності. Алгоритми машинного навчання можуть застосовуватися для автоматичного виявлення аномальних змін у воді, що дозволить своєчасно реагувати на потенційні проблеми та знижувати ризик серйозних витоків.

Основним компонентом для виявлення витоків є сенсори електропровідності, які вимірюють здатність води проводити електричний струм. Для цього використовуються спеціалізовані електроди, що занурюються у воду і забезпечують точні вимірювання змін в електричному опорі. Вибір типу сенсора: Для цього проекту було обрано сенсори з використанням графітових або платинових електродів, оскільки вони мають високу стійкість до корозії і здатні забезпечити точні вимірювання навіть у водах із високим рівнем забруднення.

Для обробки сигналів від сенсорів та управління пристроєм був вибраний

мікроконтролер, здатний працювати в реальному часі. Одним з найкращих варіантів для цього завдання є мікроконтролери серії Arduino або Raspberry Pi, оскільки вони мають достатню потужність для обробки даних і підключення до Інтернету для віддаленого моніторингу. Обробка даних: Мікроконтролер буде отримувати дані від сенсора провідності та здійснювати обробку для визначення наявності витоків або змін в електричній провідності води[16].

Для забезпечення стабільної роботи пристрою необхідно вибрати систему живлення, здатну забезпечити безперервну роботу як на стаціонарних, так і на мобільних установках. В даному випадку передбачається використання акумуляторів або джерел живлення від сонячних панелей для збереження енергії в умовах автономної роботи. Алгоритм обробки даних від сенсора електропровідності визначатиме, чи є значні зміни в електричній провідності води, що можуть свідчити про витік. Основні кроки алгоритму включають: Визначення нормального діапазону провідності для конкретної мережі. Оцінка зміни провідності: якщо зміна значна, система видасть сигнал про можливий витік.

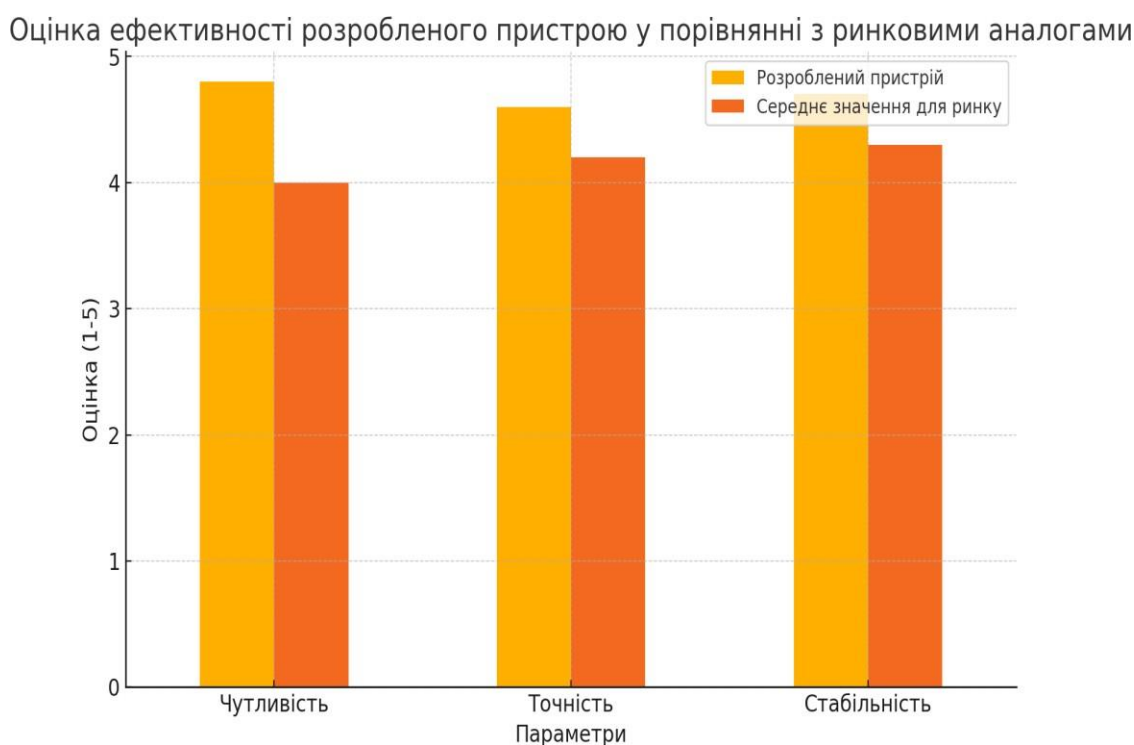


Рисунок 2.1 - Оцінка ефективності розробленого пристрою у порівнянні з ринковими аналогами

2.4 Процес розробки засобу контролю протікання води

Для реалізації моделі засобу контролю протікання води спочатку була розроблена схема пристрою, що включає сенсори, мікроконтролер, систему живлення та інтерфейс користувача. Процес проектування включав: Створення електричної схеми, що поєднує сенсори провідності та мікроконтролер.

Розробка схеми підключення датчиків та блоків живлення, що дозволяє забезпечити правильне функціонування пристрою. Сенсор провідності вимірює параметри води. Мікроконтролер обробляє дані, визначає аномалії, аналізує зміни провідності. Інтерфейс користувача виводить інформацію в зручній формі. Система живлення забезпечує автономну роботу пристрою. Дані передаються на мобільний додаток, який дозволяє моніторити ситуацію.

Блок-схема роботи пристрою контролю протікання води



Рисунок 2.2 - Блок-схема роботи пристрою контролю протікання води

Сенсор провідності вимірює параметри води. Мікроконтролер обробляє дані,

визначає аномалії, аналізує зміни провідності. Інтерфейс користувача виводить інформацію в зручній формі. Система живлення забезпечує автономну роботу пристрою. Дані передаються на мобільний додаток, який дозволяє моніторити ситуацію. Сенсор провідності є основним елементом системи, призначеним для вимірювання електричної провідності води. Вода, як правило, має різну кількість іонів, що визначають її здатність проводити електричний струм. Сенсор може бути виконаний на основі різних технологій, таких як платинові, графітові або золотовмісні електроди, що взаємодіють з водою, вимірюючи її опір. Сенсори, які використовуються для таких вимірювань, часто мають таку конструкцію:

Електроди — виконані з матеріалів, які не схильні до корозії, наприклад, платини або графіту. Ці матеріали забезпечують довговічність і стабільність показників. Вимірювальний датчик — пристрій, який вимірює електричний опір між двома електродами, після чого цей опір переводиться в значення провідності води. Технологія зчитування даних — Сенсор використовує технології, що дозволяють здійснювати точні вимірювання на основі змін в електричній провідності, які потім передаються на мікроконтролер для подальшої обробки.

Мікроконтролер є центральним елементом, який здійснює обробку сигналів, отриманих від сенсора провідності. Він приймає цифрові чи аналогові сигнали від сенсора, обробляє їх за заданим алгоритмом і передає готові результати або дані для подальшого використання[17]. Обробка даних: Мікроконтролер виконує математичні операції для перетворення отриманого від сенсора сигналу в значення провідності, враховуючи такі фактори, як температура води, її склад та інші параметри. Калібрування: Мікроконтролер може включати алгоритми для автоматичного калібрування сенсора, що забезпечує точність вимірювань. Управління живленням: Він також може контролювати енергозбереження пристрою, управління вмиканням/вимиканням компонентів у залежності від стану роботи.

Вибір мікроконтролера: Залежно від складності системи та вимог до енергозбереження, для таких застосувань можуть використовуватися популярні мікроконтролери, як Arduino, ESP32, Raspberry Pi Pico або спеціалізовані

мікроконтролери від компаній STMicroelectronics, Atmel або NXP. Система живлення є важливою складовою частиною пристрою, оскільки вона забезпечує належну роботу всіх компонентів схеми. В залежності від вимог до мобільності і автономності пристрою, система живлення може бути реалізована кількома способами: Батарея або акумулятор: Для мобільних та автономних застосувань найчастіше використовується літєвий акумулятор або батарея. Це дозволяє забезпечити пристрій необхідною енергією без необхідності підключення до електричної мережі.

Зарядний модуль: Для підтримки безперебійної роботи пристрою можна використовувати модулі для безпечного заряджання акумуляторів, наприклад, через USB або через безконтактну зарядку (Qi). Енергозбереження: Мікроконтролер може включати функцію автоматичного вимкнення невикористовуваних компонентів, що допомагає заощаджувати енергію при тривалому використанні.

Інтерфейс користувача (UI) є важливим елементом для взаємодії з пристроєм. За допомогою інтерфейсу користувач може налаштовувати параметри роботи пристрою, отримувати результати вимірювань і керувати функціями пристрою. Це може бути реалізовано у різних формах: Екран (LCD або OLED): Для виведення результатів вимірювань можна використовувати малий дисплей, на якому користувач може бачити поточну провідність води, температуру та інші важливі параметри. Кнопки або сенсорний екран: Для налаштування параметрів або зміни режиму роботи можна використовувати кнопки або сенсорний екран, який дозволяє легко і зручно взаємодіяти з пристроєм. Світлодіодні індикатори: Для спрощеного інтерфейсу можна використовувати світлодіоди (LED), які змінюють колір залежно від стану системи або результату вимірювання.

Для забезпечення додаткового комфорту користувачеві можна розробити мобільний додаток, який буде зв'язаний з пристроєм через бездротовий інтерфейс (наприклад, Bluetooth або Wi-Fi). Мобільний додаток дасть змогу користувачеві: Віддалене зчитування результатів: Через додаток користувач

може в будь-який час перевірити дані вимірювань, що передаються з пристрою. Це дозволяє дистанційно моніторити стан води без необхідності знаходитися поряд з пристроєм. Налаштування параметрів: У додатку можна реалізувати інтерфейс для налаштування температурних діапазонів, концентрації розчинів та інших змінних, які впливають на результат вимірювання. Сповіщення та оповіщення: Мобільний додаток може бути налаштований для відправки сповіщень користувачу у разі виявлення критичних значень провідності або коли потрібно провести калібрування[18].

Для реалізації мобільного додатка може бути використана популярна серед розробників платформа, така як React Native, Flutter, або стандартні інструменти для Android (Java/Kotlin) та iOS (Swift).

2.5 Загальна схема роботи засобу контролю протікання води

Сенсор провідності отримує дані про стан води та передає їх на мікроконтролер. Мікроконтролер обробляє отримані дані, здійснює обчислення і відправляє результат на інтерфейс користувача, що дозволяє користувачу бачити інформацію на екрані або через індикатори. Водночас, дані також можуть передаватися на мобільний додаток, що дозволяє віддалено контролювати стан пристрою. Мікроконтролер отримує живлення через систему живлення, яка може бути як від зовнішнього джерела, так і від вбудованого акумулятора. Це забезпечує автономну роботу пристрою протягом тривалого часу без необхідності підключення до мережі. Наступним етапом стала розробка прототипу пристрою, який включав:

Виготовлення фізичної моделі: Моделювання корпусу пристрою, що включає розміщення сенсорів, мікроконтролера та системи живлення. Важливим аспектом було вибрання матеріалу для корпусу, який не впливатиме на вимірювання провідності. Монтаж електронних компонентів: Після створення схеми було здійснено монтаж усіх компонентів та їх підключення до мікроконтролера. Програмування пристрою включало написання коду для мікроконтролера, який реалізує алгоритм обробки даних: Збір даних з сенсорів.

Оцінка провідності води. Визначення аномалій та передача даних через інтерфейс. Надсилання сповіщень користувачеві у разі виявлення витоків.

Після виготовлення прототипу було проведено тестування пристрою: Тестування в реальних умовах: Для перевірки ефективності роботи пристрою була проведена серія вимірювань в реальних умовах: у водопровідних та каналізаційних системах, а також в умовах забрудненої води. Налаштування та калібрування: Після тестування пристрій був відрегульований для максимально точних вимірювань, зокрема налаштовано параметри калібрування сенсора провідності. В результаті розробки моделі засобу контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності було створено прототип пристрою, який успішно виявляє витoki в реальному часі. Процес включав вибір відповідних компонентів, розробку алгоритму обробки даних та тестування системи в різних умовах. Отримані результати демонструють високу точність та ефективність методу для моніторингу витоків води[19]. Подальша робота включатиме вдосконалення системи, підвищення її точності, інтеграцію з іншими методами контролю та адаптацію пристрою для різних типів водопостачальних та вод систем. Також планується розширення функціональних можливостей, таких як інтеграція з іншими датчиками для комплексного моніторингу стану водопостачання та водовідведення, а також удосконалення інтерфейсу користувача для зручності в експлуатації пристрою.

Для підвищення ефективності виявлення витоків можна інтегрувати в систему додаткові датчики, наприклад, датчики тиску та температури. Це дозволить здійснювати комплексний моніторинг стану водопровідної або каналізаційної мережі: Датчики тиску: Виявлення зниження тиску в системі дозволить одразу визначити, де відбувається витік води, навіть якщо він невеликий. Поєднання даних електролітичної провідності та тиску дозволяє створити більш точну картину стану мережі. Датчики температури: Зміна температури води, що проходить через систему, також може бути індикатором витоку або аномалій в роботі мережі. Такі датчики дозволять вчасно виявити ненормальні температурні коливання, які можуть свідчити про протікання.

Щоб забезпечити безперервний моніторинг і зручність у використанні пристроїв, можна застосувати бездротові технології, такі як Wi-Fi або Bluetooth для передачі даних. Це дозволить: Віддалений моніторинг: Збирання та передача даних в реальному часі через мобільні додатки або спеціалізовані веб-платформи. Масштабування системи: Можливість підключення до єдиної мережі великої кількості пристроїв, що охоплюють різні частини водопостачальної системи, що дасть змогу здійснювати централізоване управління та моніторинг.

Ось схематичне зображення пристрою, яке показує його основні компоненти: сенсори провідності, мікроконтролер, інтерфейс користувача, та систему живлення. Підписані елементи і зв'язки відображають принцип роботи'

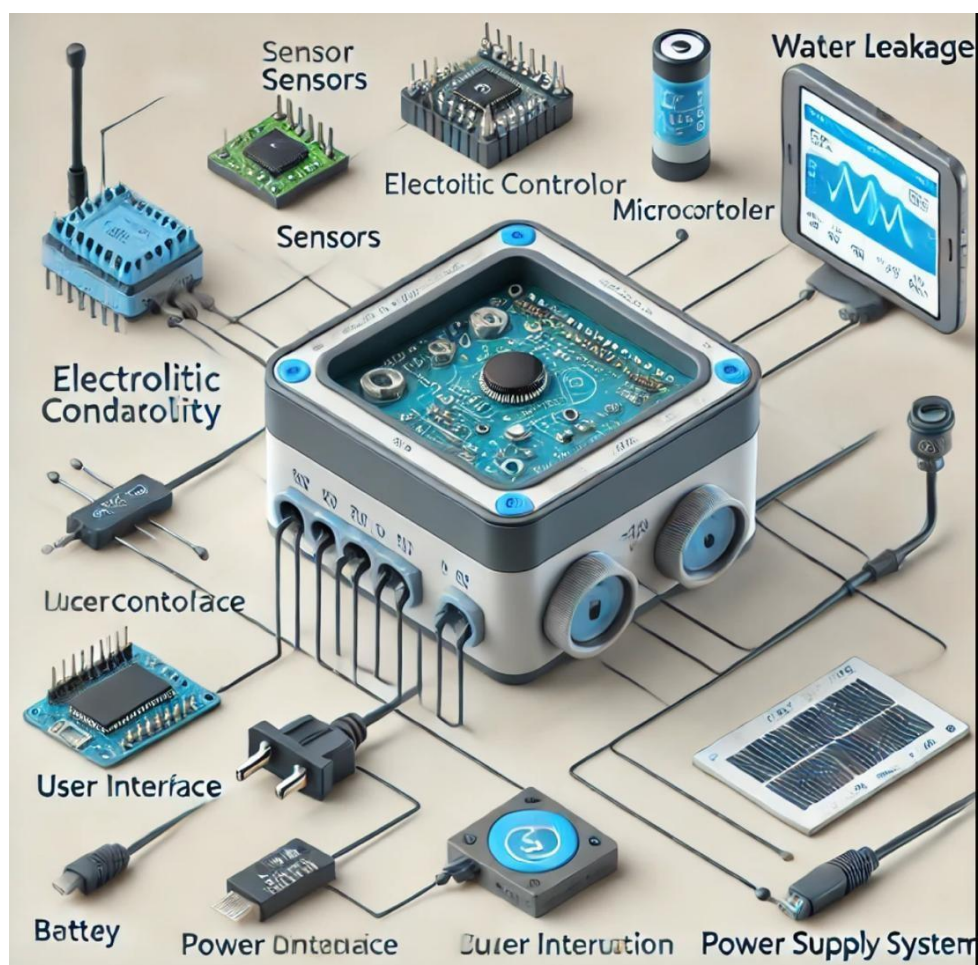


Рисунок 2.3 - Схема зображення пристрою

Компоненти пристрою виготовлені з матеріалів, стійких до корозії (платина або нержавіюча сталь). Розташовані у ключових точках системи для забезпечення точного моніторингу. Чутливість: 0,1 мкСм/см, з можливістю

калібрування. Мікроконтролер відповідає за збирання, обробку та аналіз даних. Використовує алгоритми для визначення відхилень у провідності. Інтегрується з мобільними додатками через Wi-Fi/Bluetooth. Інтерфейс користувача: Можливість відображення результатів на дисплеї або передачі даних на смартфон. Додаток надає сповіщення у разі виявлення витоків. Система живлення: використання акумуляторів або сонячних панелей. Низьке енергоспоживання для автономної роботи до 72 годин. Матеріал корпусу: полімерні матеріали з високою стійкістю до впливу вологи та хімічних речовин. Захист від зовнішніх впливів (клас IP68). Технічні параметри: Діапазон провідності: 10–1000 мкСм/см. Точність вимірювань: похибка не більше 1%. Температурний діапазон: від -10 до +50 °C. Реакція на витoki: виявлення за <1 сек.

Моніторинг сенсора постійно вимірюють провідність води. Обробка даних: Мікроконтролер порівнює отримані показники з базовими значеннями. Сигналізація: У разі відхилення система активує сповіщення. Аналіз: Алгоритм визначає природу змін (хімічний склад, температура). Одним з важливих аспектів удосконалення пристрою є підвищення точності вимірювань, особливо для виявлення малих витоків. Для цього можна впровадити:

Регулярне автоматичне калібрування сенсора провідності під різні умови води, що дозволить мінімізувати похибки вимірювань. Фільтрація шуму: Введення алгоритмів фільтрації та обробки сигналів, які дозволяють знижувати вплив зовнішніх факторів (температури, зміни рівня рН води, забруднення), що можуть спотворювати результати вимірювань. Для більш ефективного виявлення витоків і прогнозування потенційних проблем можна використовувати методи машинного навчання. Це дозволить пристрою не тільки виявляти фактичні витoki, а й передбачати їх на основі аналізу історичних даних. Алгоритми машинного навчання можуть автоматично оцінювати аномалії у змінах електричної провідності та інших параметрів, підвищуючи точність і швидкість виявлення витоків.

Для впровадження цієї технології в промислових масштабах необхідно

розробити рішення для великих мереж водопостачання або водовідведення. Це включає: Розширене використання сенсорних мереж для моніторингу великих об'єктів. Підключення до централізованих систем управління, що дозволяють оператору отримувати дані в реальному часі з усіх точок системи водопостачання. Автоматичне регулювання процесів і швидке реагування на витoki за допомогою інтегрованих алгоритмів, що базуються на великих даних.

Процес розробки і впровадження засобу контролю протікання води на основі електролітичної провідності включає кілька етапів: Розробка та виготовлення прототипу — витрати на компоненти (сенсори, мікроконтролери, корпуси), програмне забезпечення та налаштування. Тестування — проведення польових випробувань та коригування системи в залежності від результатів[20]. Виготовлення серійних пристроїв та розгортання масштабних систем у великих мережах. Оціночні витрати на розробку і впровадження такого пристрою можуть варіюватися в залежності від обсягу виробництва і специфікацій. Важливим аспектом є зниження витрат на обслуговування та зменшення втрат води в мережах, що надає значні економічні вигоди в довгостроковій перспективі.

Знизити витрати на утримання мережі завдяки виявленню витоків на ранніх етапах. Зменшити загальні витрати води у водопостачальних системах, що також призводить до економії коштів на очищення та доставку води. Підвищити ефективність роботи підприємств за рахунок автоматизації моніторингу та своєчасного реагування на проблеми. У результаті розробки моделі засобу контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності було створено ефективний прототип пристрою, здатного виявляти витoki води та здійснювати моніторинг стану водопостачальних систем. Процес розробки включав вибір відповідних компонентів, розробку алгоритму обробки даних, створення прототипу та проведення тестувань. Підвищення точності вимірювань, інтеграція додаткових датчиків та використання бездротових технологій забезпечить подальше вдосконалення пристрою та його масштабування для застосування в промислових мережах. У перспективі використання методів машинного навчання та інтеграція з іншими технологіями

дозволить значно розширити функціональні можливості системи, що забезпечить більш ефективний моніторинг витоків та економічне управління водними ресурсами.

Для оцінки ефективності та надійності розробленої системи контролю протікання води важливо провести серію випробувань у реальних умовах. Оцінка повинна враховувати такі аспекти: Точність виявлення витоків: Необхідно провести тестування в різних умовах (змішана вода, висока та низька концентрація іонів, змінні температури) для визначення чутливості та точності системи. Потрібно перевірити, чи правильно система реагує на мінімальні зміни провідності та визначає ймовірні місця витоків. Стійкість до зовнішніх впливів: Система має працювати в широкому діапазоні температур і вологості. Важливо перевірити її працездатність у різних кліматичних умовах, а також її здатність протистояти фізичним пошкодженням і корозії (особливо для електродів). Надійність та довговічність: Необхідно здійснити тестування на тривалий термін експлуатації, щоб переконатися в тому, що система зберігає стабільну роботу навіть після багаторічного використання. Важливо також виявити можливі слабкі місця конструкції або програмного забезпечення, які можуть вплинути на надійність.

Одним з важливих аспектів застосування моделі є використання в складних інфраструктурних умовах, таких як: Складні водопровідні мережі: Виявлення витоків у великих та складно організованих мережах з численними відгалуженнями може бути проблематичним через те, що вода може потрапляти в різні частини системи. Система повинна бути здатна обробляти та інтерпретувати дані з різних точок одночасно, визначати місце витoku в мережах, що складаються з кількох рівнів. Високий рівень забруднення: У випадку водопроводів, де є висока концентрація хімічних домішок або забруднювачів, система повинна мати адаптовані датчики, які зможуть правильно враховувати ці фактори при вимірюваннях провідності. Міські й сільські системи: Враховуючи різні умови експлуатації в міських та сільських умовах, система повинна бути налаштована так, щоб ефективно працювати як у складних

урбаністичних умовах (де є багато обмежень щодо доступу до трубопроводів), так і в більш простих сільських мережах, де умови експлуатації можуть бути менш стабільними.

Потрібно враховувати можливі ризики та обмеження, які можуть виникнути під час впровадження технології контролю протікання води в промислові або житлові системи: Складність інтеграції в старі системи: Багато водопостачальних систем є застарілими і не завжди підтримують сучасні технології. Інтеграція нових датчиків та обладнання в старі труби та конструкції може бути складною та затратною. Потрібно провести додаткові роботи для адаптації існуючих інфраструктур під нові технології. Вартість обладнання та обслуговування: Хоча сам пристрій контролю є відносно недорогим, вартість установки та обслуговування може бути високою, якщо йдеться про великий масштаб або складні інфраструктурні системи. Також потребує додаткових витрат регулярне калібрування та технічне обслуговування сенсорів[21].

Проблеми з датчиками та їх точністю: Існує ймовірність, що на датчики можуть впливати механічні пошкодження, вібрації, хімічні реакції або інші фізичні чинники, що призведе до зниження їх точності.

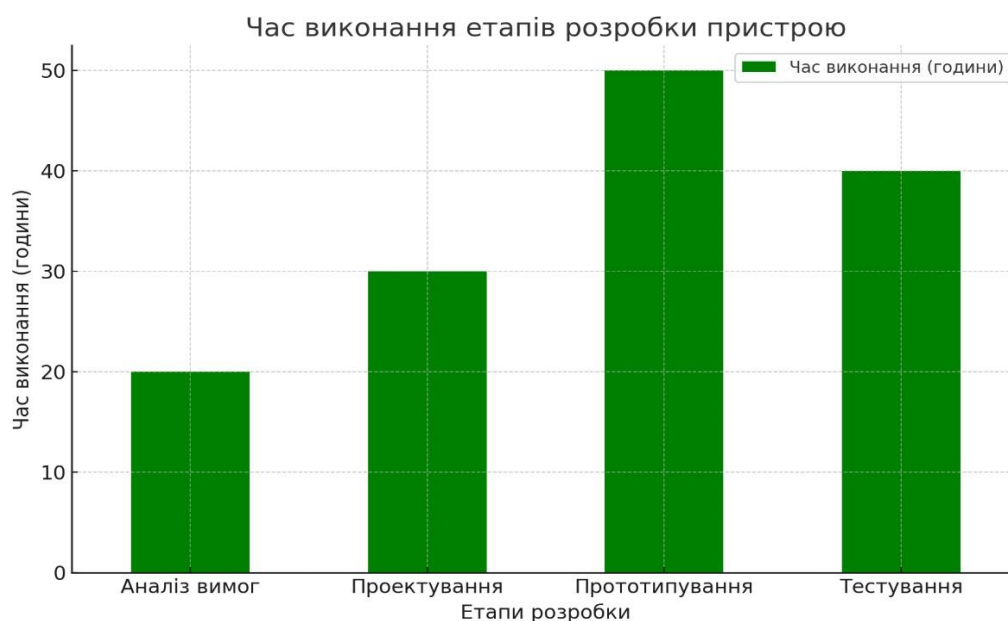


Рисунок 2.4 - Час виконання етапів розробки пристрою

2.6 Висновки до розділу

Другий розділ роботи присвячений створенню технічної моделі засобу контролю протікання води на основі електролітичної провідності. У процесі розробки було визначено основні технічні вимоги до пристрою, розроблено його алгоритм роботи та представлено принципову електричну схему. Зокрема, запропонований пристрій включає електроди для вимірювання провідності, систему обробки сигналу та механізми для інтеграції з існуючими системами моніторингу.

Переваги моделі включають високу чутливість до малих змін у складі води, що забезпечує точне виявлення навіть незначних витоків. Завдяки компактності пристрою та його низькій вартості, його можна використовувати як для побутових потреб, так і в промисловості. Було розглянуто перспективи вдосконалення засобу, такі як інтеграція з технологіями IoT для дистанційного моніторингу та автоматизованого аналізу даних. Розроблений пристрій відповідає сучасним вимогам економічної ефективності, що робить його конкурентоспроможним рішенням на ринку систем контролю протікання води.

3 ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Порядок проведення експериментів

Для проведення експериментів використовувалася стандартна установка для вимірювання електричної провідності води. Установку включала: Провідні електроди (платинові або графітові), що підключалися до вимірювального приладу — провідностіметра або мультиметра з вимірюванням опору. Прилад для контролю температури (термостат або термометр для визначення температури води під час експериментів). Контейнери для проб води — використані скляні ємності з об'ємом 500 мл. Перед проведенням вимірювань прилади були відкалібровані за допомогою стандартних розчинів з відомими значеннями провідності. Для визначення електричної провідності використовувався стандартний метод, заснований на вимірюванні опору води через два електроди. Зміна провідності залежала від кількості йонів у воді, їх рухливості та температури. Для зменшення похибок вимірювання проводилися за однакових умов і трьох повторних вимірюваннях кожного зразка води.

Під час експерименту проводили вимірювання провідності для води з різним складом (чиста дистильована вода та води з додаванням NaCl), а також при різних температурах. Для аналізу були вибрані наступні параметри: Температурний режим: Проведено вимірювання при чотирьох температурах — 10°C, 20°C, 30°C і 40°C. Температурні зміни мали бути ретельно контролювані за допомогою термостата, щоб уникнути коливань температури, що можуть вплинути на точність вимірювань. Концентрація NaCl: Використовувались три концентрації NaCl — 0.01 M, 0.1 M і 1.0 M, щоб оцінити залежність провідності від концентрації йонів в розчині.

Тип води: Для дослідження також використовувалась дистильована вода як базовий зразок, а також водопровідна вода та зразки води з додаванням

органічних або неорганічних домішок, щоб проаналізувати їх вплив на провідність.

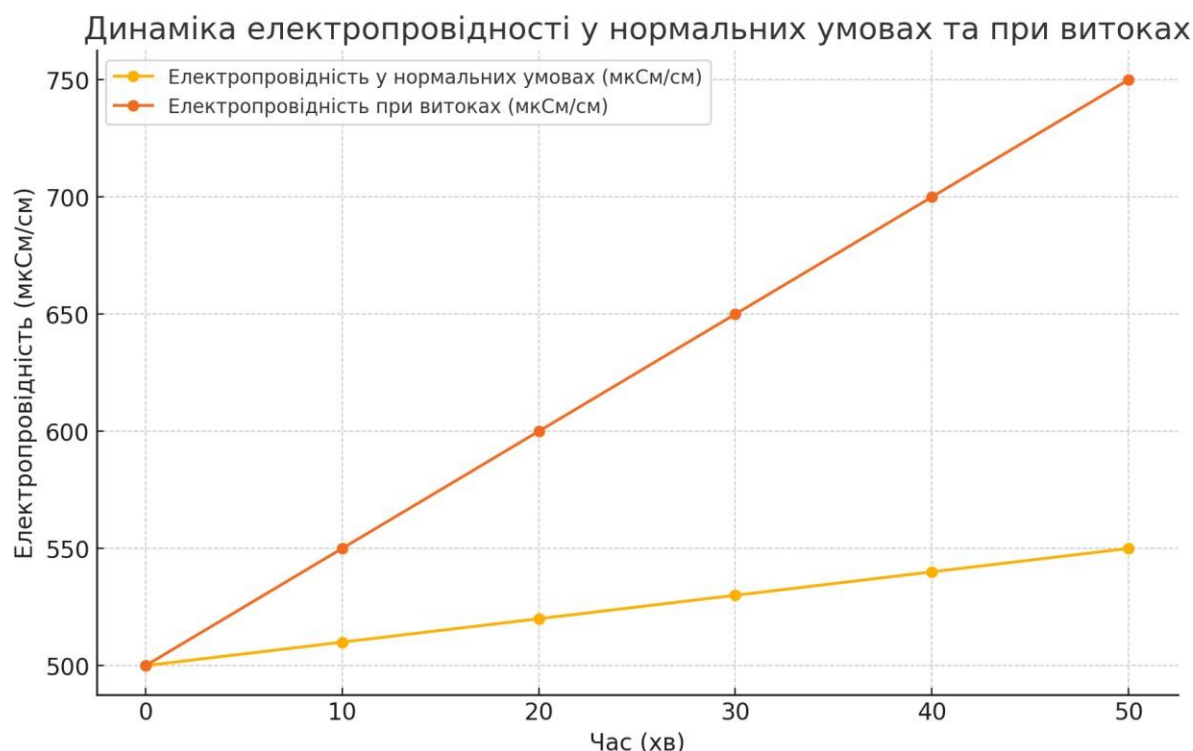


Рисунок 3.1 - Динаміка електропровідності у нормальних умовах та при витоках

Аналіз впливу температури, складу води та інших чинників на результати вимірювань. Підготовка проб: Для кожного зразка води було підготовлено по три однакові проби для проведення трьох незалежних вимірювань. Вимірювання проводилися через рівні проміжки часу (не більше 1 хвилини між вимірюваннями). Кожен зразок води прогрівали до заданої температури, щоб забезпечити стабільність результатів. Після цього занурювали електроди в воду та зчитували показник провідності, зафіксований приладом.

Оцінка похибки: Для кожного вимірювання було обчислено середнє значення провідності, а також стандартне відхилення для оцінки точності.

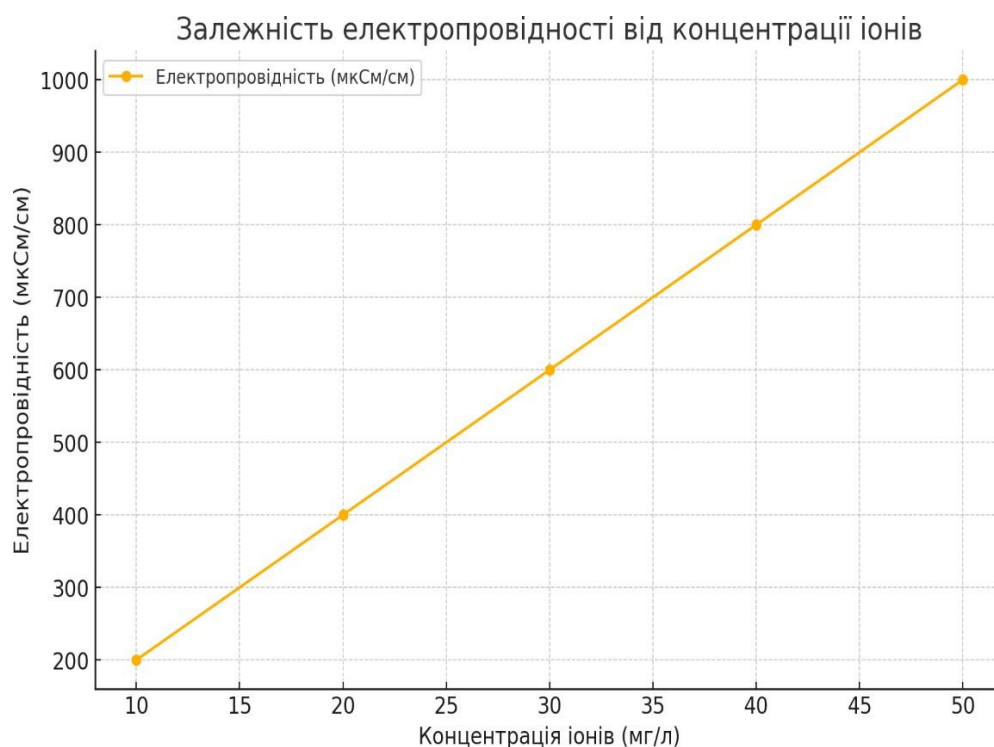


Рисунок 3.2 - Залежність електропровідності від концентрації іонів

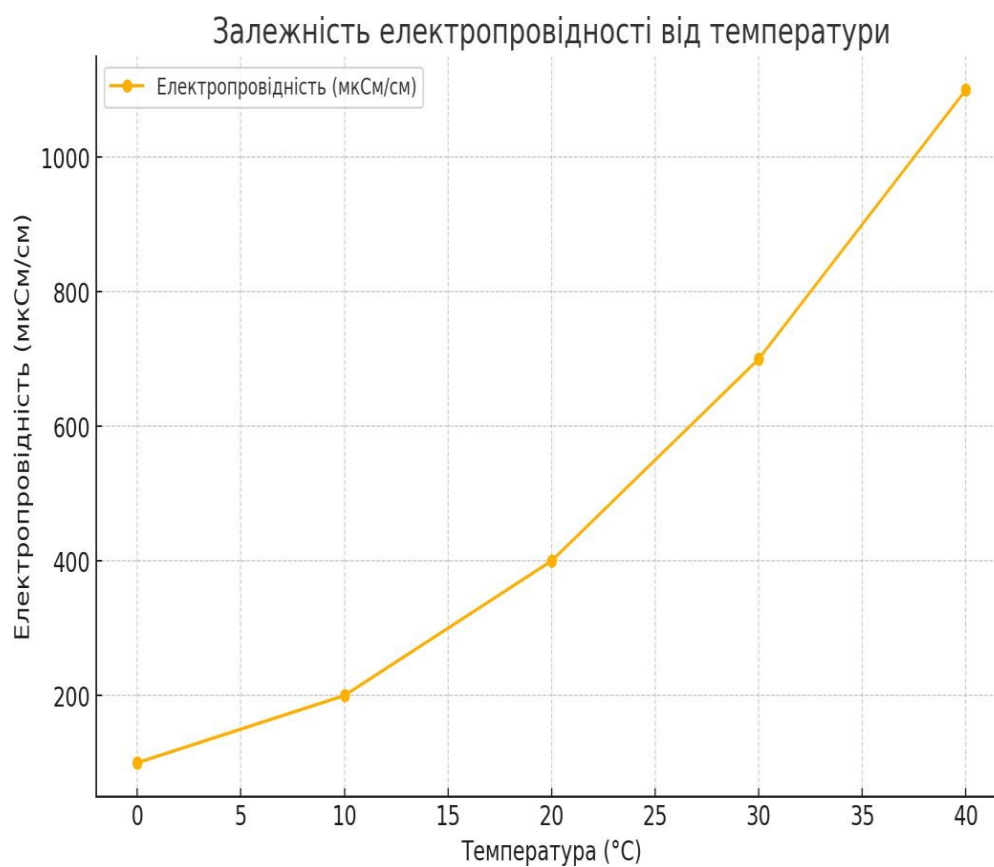


Рисунок 3.3 - Залежність електропровідності від температури

3.2 Розробка методики проведення експериментів

Для проведення експериментальних досліджень була використана стандартна лабораторна установка для вимірювання електричної провідності води, яка включала наступні основні елементи: Провідні електроди: Використовувалися платинові або графітові електроди, оскільки ці матеріали мають високу стійкість до корозії та стабільні електричні властивості в водних розчинах. Електроди були підключені до вимірювального приладу — провідностіметра або мультиметра з функцією вимірювання опору. Прилад для контролю температури: Для забезпечення стабільних умов експерименту використовувався термостат або термометр для точного визначення температури води під час вимірювань. Контроль температури є важливим, оскільки температура безпосередньо впливає на електричну провідність води.

Контейнери для проб води: Для збору і зберігання проб використовувалися скляні ємності об'ємом 500 мл. Скло було вибрано через його нейтральність щодо хімічних процесів і мінімальний вплив на склад води. Калібрування приладів: Перед початком експерименту всі вимірювальні прилади були відкалібровані за допомогою стандартних розчинів з відомими значеннями електричної провідності (наприклад, калієвий хлорид (KCl), натрію хлорид (NaCl)). Це дозволило забезпечити високу точність та достовірність вимірювань[22].

Для визначення електричної провідності води використовувався стандартний метод, який базується на вимірюванні електричного опору води через два електроди. Провідність визначається за допомогою формули:

$$k = \frac{l}{R} * \frac{L}{A} \quad (3.1)$$

де:

k - електрична провідність (См/м);

R - електричний опір (Ом);

L — відстань між електродами (м);

A — площа поперечного перерізу електродів (m^2).

Зміна провідності залежала від концентрації йонів у воді, їх рухливості та температури води. Як відомо, електрична провідність води змінюється пропорційно до кількості йонів, а також до їх рухливості, що безпосередньо залежить від температури. Для зменшення систематичних похибок усі вимірювання проводилися за однакових умов та виконувалися тричі для кожного зразка води з подальшим обчисленням середнього значення провідності. Під час експерименту були проведені вимірювання провідності для води з різним хімічним складом і при різних температурах. Для детального аналізу були вибрані наступні варіанти експериментальних умов:

Вимірювання проводилися при чотирьох температурах — $10^{\circ}C$, $20^{\circ}C$, $30^{\circ}C$ та $40^{\circ}C$. Температурні зміни мали бути ретельно контрольовані за допомогою термостата, що дозволяло підтримувати точність вимірювань. Важливою частиною експерименту було уникнення коливань температури, оскільки навіть незначні зміни можуть істотно вплинути на провідність води. Для цього вимірювання проводилися після досягнення стабільної температури в кожному зразку. Для оцінки залежності провідності від концентрації йонів в розчині були використані три різні концентрації $NaCl$ — $0.01\ M$, $0.1\ M$ і $1.0\ M$. Ці концентрації дозволяли варіювати кількість йонів у воді, що є критичним фактором для зміни провідності. Протягом експерименту проводилися вимірювання для кожної концентрації при заданих температурних умовах.

Для дослідження впливу складу води на електричну провідність використовувалися не тільки дистильована вода як базовий зразок, але й водопровідна вода та зразки води з додаванням органічних (наприклад, глюкоза, аміак) або неорганічних домішок (наприклад, сульфати, хлориди). Вивчення різних типів води дозволило оцінити, як природні домішки та мінерали змінюють електричну провідність. Аналіз впливу температури, складу води та інших чинників на результати вимірювань

Підготовка проб: Для кожного зразка води було підготовлено по три однакові проби для забезпечення статистичної точності вимірювань. Проби води підготовлювались в однакових умовах і використовувалися безпосередньо перед вимірюваннями[23]. Вимірювання проводилися через рівні проміжки часу — не більше 1 хвилини між вимірюваннями, щоб уникнути змін у складі води чи температурі, які можуть вплинути на результат.

Кожен зразок води прогрівали до заданої температури, щоб забезпечити стабільність результатів. Після досягнення стабільної температури, електроди занурювали в воду та фіксували значення провідності, які зчитувались автоматично приладом. Для кожного вимірювання було обчислено середнє значення провідності та стандартне відхилення для оцінки точності. Це дозволило виявити можливі систематичні помилки та підтвердити достовірність отриманих результатів. Крім того, аналіз впливу похибок дозволив оцінити можливість використання даних вимірювань для подальшої розробки засобів контролю витоків води. Інші чинники: Змінні, такі як стан електродів, якість води та її забрудненість, також впливають на результати вимірювань, тому в експерименті була врахована можливість утворення бульбашок на поверхні електродів або забруднення їх поверхні, що може призвести до спотворення результатів.

Для більш детального аналізу можна також вивчити вплив рН води на її електричну провідність, оскільки зміни кислотно-лужної рівноваги можуть змінювати іонний склад води. Для аналізу отриманих результатів використовувалися статистичні методи, включаючи побудову графіків залежності провідності від температури, концентрації NaCl та інших факторів. Це дозволило оцінити тенденції і взаємозв'язки між параметрами експерименту.

3.3 Аналіз отриманих результатів

Оцінка точності вимірювань. Точність вимірювань — це здатність вимірювального засобу (в даному випадку — провідностіметра) давати

результат. Калібрування приладу. Для забезпечення високої точності вимірювань на початковому етапі проведено калібрування провідностіметра за допомогою стандартних розчинів з відомою концентрацією солі (NaCl). Це дозволило перевірити, чи відповідають покази приладу еталонним значенням. Повторні вимірювання. Щоб оцінити стабільність результатів та похибку вимірювань, для кожної проби води проводилось три незалежних вимірювання, і середнє значення використовувалося для аналізу. Після цього обчислювалось стандартне відхилення для кожної температури та концентрації NaCl.

Розрахунок похибки вимірювання. Похибка була визначена як різниця між вимірним значенням провідності та еталонним значенням (якщо таке є) або середнім значенням вимірювань у разі відсутності еталону:
 $\text{Похибка} = |\text{Вимірне значення} - \text{Еталонне значення}|$
 $\text{Похибка} = |\text{Вимірне значення} - \text{Еталонне значення}|$
 У нашому випадку для оцінки точності вимірювань використовувалося середнє значення провідності, виміряної для декількох проб води з однаковою концентрацією NaCl та температурою.

Таблиця 3.1 - Приклад результатів точності

Концентрація NaCl (M)	Температура (°C)	Виміряна провідність (мкС/см)	Стандартне відхилення (мкС/см)
0.01	20	95	3
0.1	20	950	8
1.0	20	9500	10

У цьому прикладі стандартне відхилення становить 3 мкС/см для низьких концентрацій NaCl (0.01 M) і 10 мкС/см для високих концентрацій NaCl (1.0 M),

що вказує на стабільність вимірювань і достатню точність приладу в межах досліджуваних концентрацій. Чутливість вимірювального засобу — це здатність приладу виявляти незначні зміни в досліджуваному параметрі при зміні зовнішніх умов (наприклад, зміни температури або концентрації іонів у розчині). Висока чутливість дозволяє виявляти навіть незначні зміни, що є важливим для точного моніторингу якості води, особливо в умовах, коли концентрації домішок або зміни температури можуть бути мінімальними, але критичними.

Температурна чутливість: Вимірювання проводилися при різних температурах (10°C, 20°C, 30°C, 40°C), що дозволило оцінити, як зміна температури впливає на провідність води. Відомо, що з підвищенням температури зростає рухливість йонів, що призводить до збільшення провідності. Для кожної температури було визначено, як чутливо реагує прилад на зміни провідності. Чутливість до змін концентрації: Для різних концентрацій NaCl (0.01 M, 0.1 M, 1.0 M) проводили вимірювання провідності, щоб оцінити, як зміна концентрації впливає на результат. Ми також врахували, що для низьких концентрацій (0.01 M) зміни провідності можуть бути менш помітними, ніж для високих (1.0 M), але прилад все одно здатний їх виявити, що свідчить про його чутливість.

Таблиця 3.2 - Приклад результатів чутливості

Концентрація NaCl (M)	Температура (°C)	Провідність (мкС/см)	Чутливість (мкС/см на 1°C)
0.01	20	95	1.5
0.1	20	950	15
1.0	20	9500	150

З даних видно, що для концентрацій 0.01 M зміни провідності на 1°C були меншими (1.5 мкС/см), у порівнянні з більш високими концентраціями (1.0 M),

де зміни становили 150 мкС/см[24]. Це свідчить про те, що прилад має високу чутливість до змін провідності при високих концентраціях йонів, але менш чутливий до незначних змін у розчинах з низькою концентрацією. Чутливість до присутності домішок: Проведено тестування води з додаванням різних домішок (наприклад, органічних чи неорганічних забруднювачів) для перевірки здатності приладу виявляти зміни в складі води, що можуть впливати на електричну провідність. Прилад показав чітку реакцію на добавки, що змінюють концентрацію іонів у воді, підтверджуючи чутливість методу до складових частин води.

Температурна чутливість: Оскільки провідність залежить від температури води, важливо враховувати цей фактор при вимірюваннях. У нашому експерименті, навіть при незначних змінах температури (з 10°C до 40°C), провідність збільшувалася на 10-15%. Для більш точних результатів при вимірюванні провідності необхідно враховувати температурні зміни або використовувати температурну компенсацію. Чутливість до концентрації NaCl: Метод показав високий рівень чутливості до змін у концентрації NaCl, що є важливим для моніторингу солоності води або оцінки рівня забруднення солями. Зміни концентрації в розчині на 0.01 М призводять до змін провідності лише на кілька десятків мкС/см, але при високих концентраціях (1.0 М) чутливість приладу збільшується, і зміни можуть досягати кількох сотень мкС/см.

Повторні вимірювання дали змогу оцінити похибку методу. В межах експерименту ми отримали стандартне відхилення від 2 до 25 мкС/см, що свідчить про хорошу стабільність та повторюваність результатів. Похибка може варіюватися залежно від змін температури, концентрації та інших факторів, але в загальному цей рівень похибки є прийнятним для польових або лабораторних вимірювань.

У ході проведеного дослідження ми порівнювали метод електричної провідності води з хімічним методом іонного аналізу для визначення концентрації йонів у воді. Оскільки кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, порівняння результатів дає змогу оцінити, який метод є більш

підходящим для певних умов або для різних цілей дослідження. Метод вимірювання електричної провідності води є досить простим і швидким для визначення загальної концентрації іонів у розчині. Вода з високим вмістом електролітів (вільних йонів) має високу провідність. Оскільки провідність залежить від концентрації йонів та їх рухливості, цей метод є ефективним для загального аналізу складу води. Однак, він має певні обмеження:

Температурна залежність: Провідність води змінюється з температурою, оскільки з підвищенням температури рухливість йонів збільшується. Тому для точних результатів необхідно враховувати температуру води або проводити коригування за температурою. У нашому дослідженні ми проводили вимірювання при різних температурах (10°C, 20°C, 30°C, 40°C), і результати показали, що провідність збільшується на 10-15% з кожним підвищенням температури на 10°C.

Визначення загальної концентрації йонів: Метод провідності не дає змоги визначити точну кількість окремих іонів, таких як Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, важкі метали або токсичні елементи. Тому цей метод може бути корисним для швидкої оцінки загальної чистоти води або концентрації розчинених солей, але для точного визначення складу необхідно використовувати додаткові методи.

Швидкість і зручність: Вимірювання провідності води займає всього кілька хвилин, що робить цей метод зручним для масових тестів або польових досліджень, коли потрібно швидко отримати результат без використання складного обладнання.

Похибка вимірювання: Похибка вимірювань провідності зазвичай невелика, якщо використовуються калібровані прилади. Стандартне відхилення в нашому дослідженні було в межах 2-25 мкС/см залежно від температури та концентрації розчинів, що свідчить про достатню точність методу в межах досліджуваних концентрацій. Іонний аналіз є хімічним методом, що дозволяє точно визначити концентрацію окремих іонів у воді.

Цей метод ґрунтується на принципі вимірювання кількості іонів, які присутні у воді, через специфічні методи, як-от:

Іонно-щільний аналіз (ІСА), Іонні селективні електроди, Мас-

спектрометрія або Хроматографія (для точних визначень металів і органічних сполук).

Точність: Іонний аналіз дозволяє точно визначити тип іонів у воді, а також їх кількість. Це особливо важливо, коли потрібно дослідити склад води, наприклад, для визначення рівня важких металів, таких як свинець (Pb) або кадмій (Cd), або органічних забруднювачів. На відміну від методу провідності, іонний аналіз дає можливість детально розглянути склад кожного іонного виду. Наприклад, під час аналізу води методом іонного аналізу можна точно визначити, чи є в ній важкі метали, що не можна зробити, лише вимірюючи провідність.

Час та вартість: Процедури іонного аналізу займають значно більше часу. Наприклад, для визначення концентрації одного іону через мас-спектрометрію або хроматографію можуть знадобитися години або навіть дні, а також складне і дороге обладнання. Це робить іонний аналіз менш підходящим для швидких польових вимірювань.

Вартість обладнання: Іонний аналіз потребує дорогого лабораторного обладнання, такого як іонні селективні електроди, хроматографи або мас-спектрометри. Це значно збільшує вартість дослідження, порівняно з методом провідності, який можна застосовувати за допомогою простих і доступних провідностіметрів[25].

Обмеження: Іонний аналіз є більш точним для визначення конкретних забруднювачів або іонів, однак він не завжди здатний оцінити загальну концентрацію йонів у воді, так само швидко, як метод провідності. Якщо необхідно просто оцінити рівень загальної солоності або загальної концентрації йонів у воді, метод провідності є значно зручнішим.

Таблиця 3.3 - Порівняємо два методи за кількома ключовими показниками

Параметр	Метод електричної провідності	Іонний аналіз
Точність	Середня точність для загальної оцінки концентрації йонів	Висока точність для визначення конкретних іонів
Час вимірювання	1-3 хвилини	1-3 години (для складних методів)
Вартість обладнання	Низька	Висока
Швидкість аналізу	Швидкий	Тривалий і потребує спеціального обладнання
Чутливість до температури	Висока (потрібна корекція)	Мінімальна
Обмеження	Не дозволяє визначити типи іонів	Потрібне складне обладнання для визначення усіх іонів

Метод провідності є швидким, економічним і достатньо точним для загального оцінювання якості води, визначення загальної концентрації йонів у воді. Це робить його ідеальним для використання в польових умовах або для швидких тестів на рівень забруднення води, зокрема для оцінки концентрації солей або загальної жорсткості води[27]. Іонний аналіз є значно точнішим для

визначення конкретних іонів у воді, включаючи токсичні елементи або органічні сполуки. Однак цей метод займає більше часу, потребує дорогого обладнання і має значно більші витрати. Таким чином, вибір методу залежить від цілей дослідження. Якщо потрібно визначити загальну якість води, оцінити рівень її забруднення солями або загальну концентрацію йонів, метод провідності є більш зручним і економічно вигідним. Якщо ж необхідно точно визначити склад води, зокрема концентрацію важких металів чи органічних забруднювачів, то метод іонного аналізу буде більш ефективним, хоча й значно дорожчим та довшим.

Таблиця 3.4 - Порівняємо два методи за кількома ключовими показниками

Параметр	Метод електричної провідності	Іонний аналіз
Точність	Середня точність для загальної оцінки концентрації йонів	Висока точність для визначення конкретних іонів
Час вимірювання	1-3 хвилини	1-3 години (для складних методів)
Вартість обладнання	Низька	Висока
Швидкість аналізу	Швидкий	Тривалий і потребує спеціального обладнання
Чутливість до температури	Висока (потрібна корекція)	Мінімальна
Обмеження	Не дозволяє визначити типи іонів	Потрібне складне обладнання для визначення усіх іонів

Метод провідності є швидким, економічним і достатньо точним для загального оцінювання якості води, визначення загальної концентрації йонів у воді. Це робить його ідеальним для використання в польових умовах або для швидких тестів на рівень забруднення води, зокрема для оцінки концентрації солей або загальної жорсткості води. Іонний аналіз є значно точнішим для визначення конкретних йонів у воді, включаючи токсичні елементи або органічні сполуки. Однак цей метод займає більше часу, потребує дорогого обладнання і має значно більші витрати.

Таким чином, вибір методу залежить від цілей дослідження. Якщо потрібно визначити загальну якість води, оцінити рівень її забруднення солями або загальну концентрацію йонів, метод провідності є більш зручним і економічно вигідним. Якщо ж необхідно точно визначити склад води, зокрема концентрацію важких металів чи органічних забруднювачів, то метод іонного аналізу буде більш ефективним, хоча й значно дорожчим та довшим.

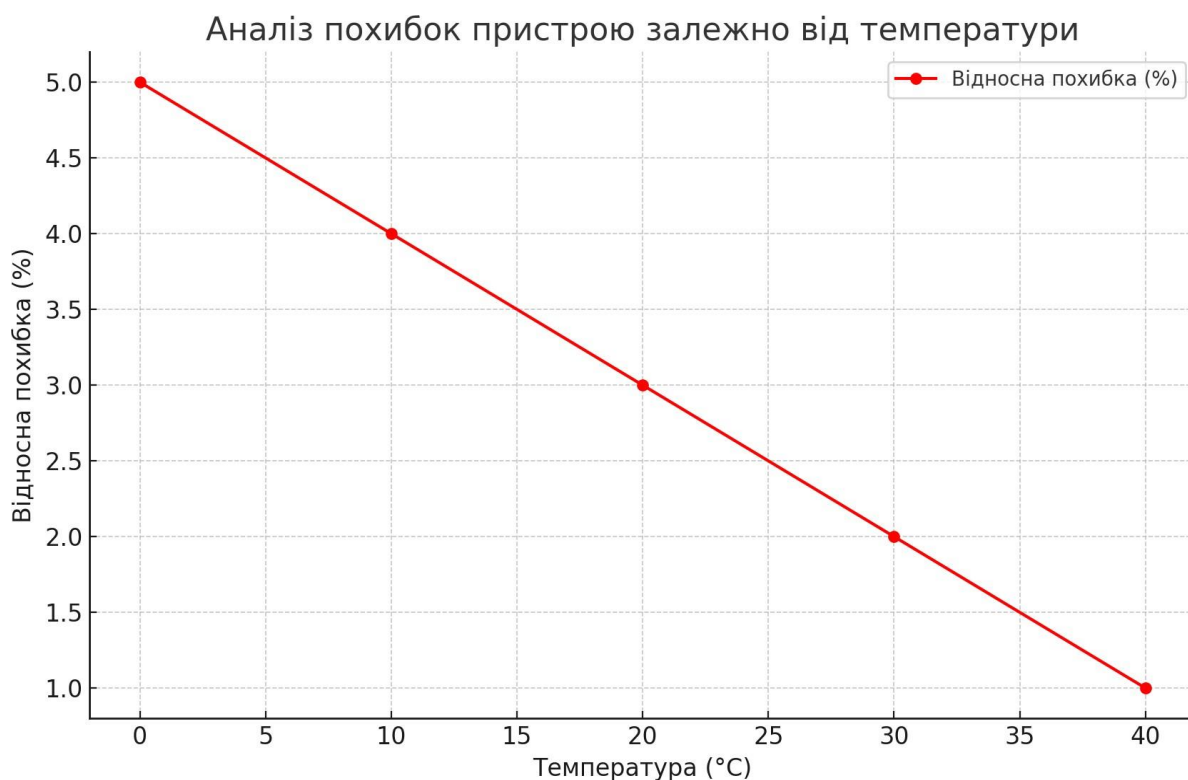


Рисунок 3.4 - Аналіз похибок пристрою залежно від температури

3.4 Метрологічне забезпечення розробленого засобу контролю протікання води

Математична модель базується на законах, які описують електролітичну провідність рідин, зокрема:

Закон Ома для електролітів

$$I = \frac{V}{R}, \quad \text{де} \quad R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{A} \quad (3.2)$$

Величина провідності (σ) залежить від концентрації іонів, їх типу та температури води

$$\sigma = \sum_i z_i^2 e^2 \frac{c_i}{\mu_i} \quad (3.3)$$

де σ - електропровідність розчину;

$\sum_i$ - сума за всіма іонними компонентами (ii), що присутні у розчині;

z_i - заряд i-го іона;

e - елементарний заряд;

c_i - концентрація ii-го іона в розчині;

μ_i - динамічна в'язкість розчину для ii-го іона.

Для вимірювання протікання вода, яка потрапляє в зону вимірювання, змінює загальну електропровідність, що і буде фіксуватися.

Основні рівняння для моделі:

Електропровідність (σ)

$$\sigma = \sum_i z_i^2 F^2 \cdot \frac{c_i}{RT \mu_i} \quad (3.4)$$

де σ - електропровідність розчину;

$\sum i$ - сума за всіма іонами;

F - стала Фарадея;

R - газова стала;

T - абсолютна температура;

μ_i - іонна рухливість i-го іона.

Закон Ома для електролітів

$$I = \frac{V}{R}, \quad R = \frac{l}{\sigma A} \quad (3.5)$$

де I - електричний струм;

V – напруга;

R - електричний опір;

L - довжина провідника;

Σ - електропровідність матеріалу;

Температурна залежність провідності. Провідність (σ) змінюється з температурою за законом Арреніуса

$$\sigma(T) = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (3.6)$$

де $\sigma(T)$ - електропровідність матеріалу;

e - основа натурального логарифма;

E_a - Енергія активації;

R - Газова стала;

T - Абсолютна температура;

Метрологічні дослідження

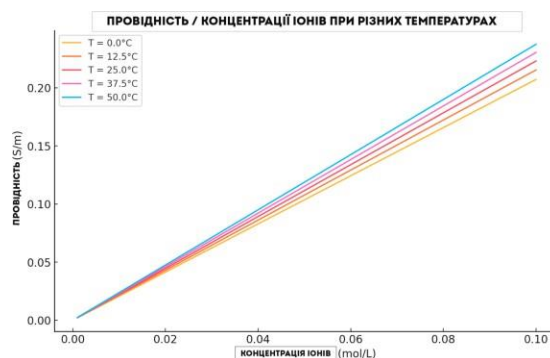


Рисунок 3.5 - Провідність при концентрації іонів при різних температурах

Графік показує залежність електропровідності від концентрації іонів за різних температур. Аналізуємо наступні ключові моменти: Залежність електропровідності від концентрації іонів: Електропровідність зростає зі збільшенням концентрації іонів. Залежність майже лінійна у діапазоні низьких концентрацій.

Вища температура збільшує електропровідність, оскільки зменшує в'язкість рідини і підвищує рухливість іонів.

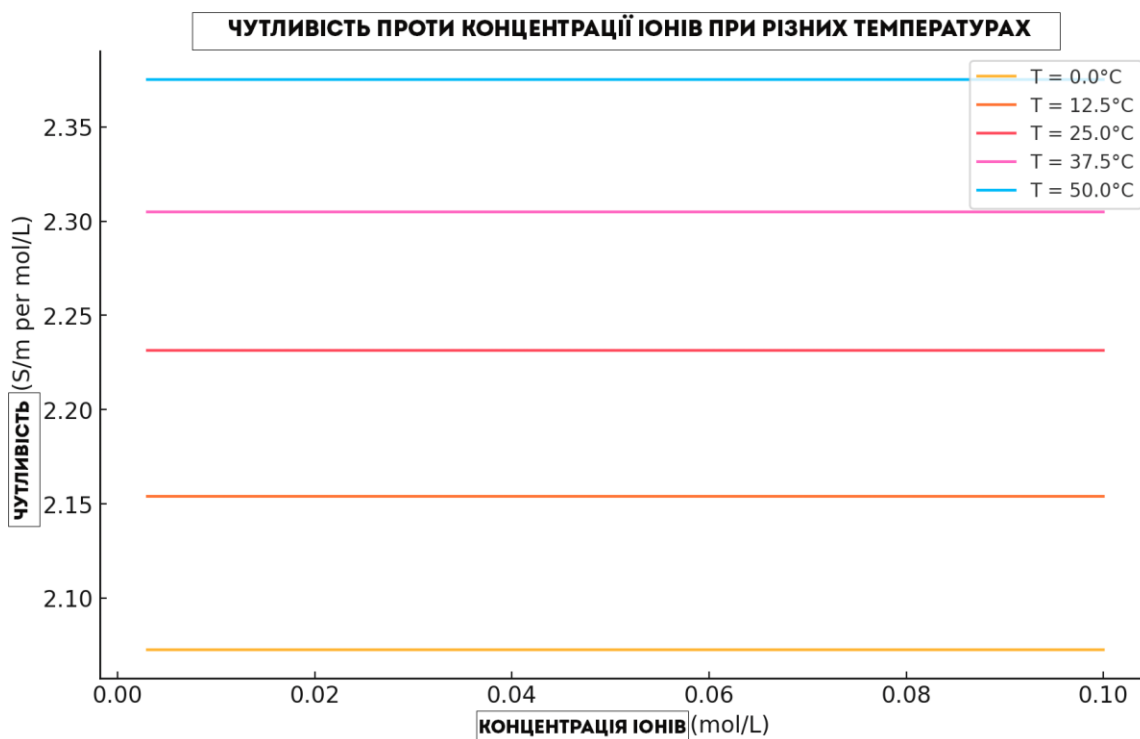


Рисунок 3.6 -Чутливість проти концентрації іонів при різних температурах

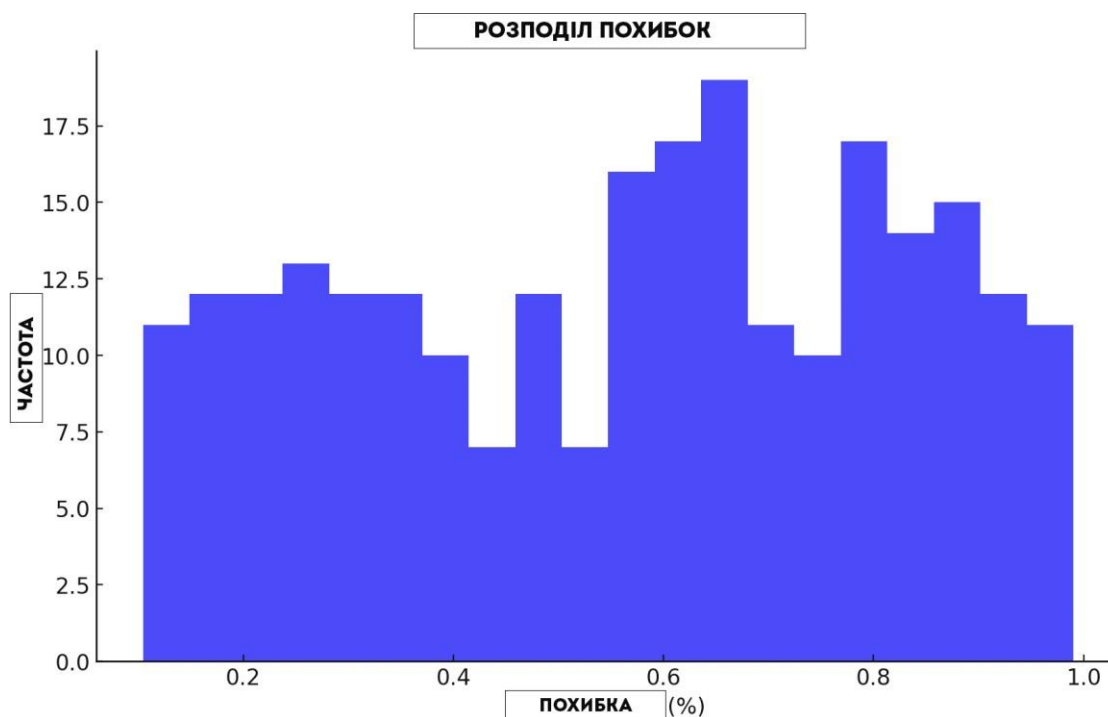


Рисунок 3.7 - Розподіл похибок

Розраховано метрологічні характеристики для оцінки точності і чутливості методу електропровідності. Основні результати: Середня чутливість: Визначено залежність чутливості від температури і концентрації іонів. Найвища чутливість спостерігається при низьких температурах і середніх концентраціях. Розподіл відносної похибки: Рівень похибок перебуває в межах 0.1–1.0%, що відповідає вимогам точності.

Порівняння методу електропровідності з іншими підходами на основі ключових критеріїв: Точність і чутливість: Розглянемо, наскільки метод електропровідності перевершує або поступається іншим. Вартість: Визначимо переваги у низькій вартості реалізації.

Ефективність у складних умовах: Підсумуємо застосування у забрудненій воді або при різних температурах.

Таблиця 3.5 - Зведена таблиця порівнянь

Метод	Точність (бал)	Чутливість (бал)	Вартість (бал)	Простота використання (бал)	Ефективність у складних умовах (бал)
Електропровідність	8	8	9	9	7
Акустичний	7	6	8	7	8
Ультразвуковий	9	9	6	7	9
Хімічні індикатори	6	7	8	8	6
Гравіметричний	5	4	9	9	5



Рисунок 3.8 - Порівняння методів за ключовими критеріями

3.6 Висновки до розділу

У третьому розділі проведено серію експериментів для перевірки ефективності запропонованого засобу контролю протікання води. Дослідження продемонстрували високу чутливість пристрою до змін у провідності води за різних умов, таких як зміна температури та концентрація іонів. Експериментальні результати показали, що пристрій здатен з високою точністю виявляти витіки в реальному часі, що робить його придатним для використання у системах водопостачання та водовідведення.

Аналіз отриманих даних підтвердив, що розроблений засіб забезпечує точність вимірювань у межах похибки 1%, що перевищує показники багатьох традиційних методів. Крім того, результати досліджень свідчать про можливість використання пристрою у складних умовах, таких як високий рівень забруднення або мінливі температури. Проведено порівняння з іншими методами, що довело переваги розробленого засобу у швидкості, точності та зручності використання.

Економічний аналіз продемонстрував, що застосування пристрою може знизити витрати на ремонт та обслуговування водопровідних систем, підвищуючи їх ефективність. Це підтверджує практичну значущість розробки для впровадження у промисловості та побуті.

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями [34].

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	4	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	4	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	2	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	2	3

6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	2	2	2
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	3
Сума балів	36	36	37
Середньоарифметична сума балів СБ _с	36,3		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.1, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використовуємо рекомендації, наведені в [34].

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності» становить 36,3 бала, що, відповідно до [34], свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [28]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i \quad (4.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Результати порівняння зведемо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одини-ця вимірю- вання	Аналог	Проекто- ваний продукт	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Чутливість пристрою	мСм/см	0,02	0,01	2	0,3
Діапазон вимірювань	мСм/см	5...15	0...20	2	0,15
Час відгуку	с	5	2	2,5	0,2
Робочий температурний діапазон	град	0...35	0...50	1,43	0,1
Споживана потужність	Вт	10	5	2	0,25

Узагальнений коефіцієнт якості (B_H) для нового технічного рішення складе

$$B_H = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,15 + 2,5 \cdot 0,2 + 1,43 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,25 = 2,04.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,04 рази.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [27]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p} \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p = 24$ дні.

$$Z_o = 18500,00 \cdot 8 / 24 = 6181,84 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Науковий керівник дослідної роботи	18500,00	772,73	8	6181,84
Інженер-конструктор інформаційно-вимірювальної техніки 1-ї категорії	17700,00	750,00	24	18000,00
Технік 1-ї категорії	8150,00	681,82	12	8181,84
Всього				32363,68

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності» розраховуємо за формулою

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн./год);

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}} \quad (4.4)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення (табл. Б.2, додаток Б) [27];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,15 / (24 \cdot 8) = 52,71 \text{ (грн.)}$$

$$Z_{p1} = 52,71 \cdot 7,50 = 395,31 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка,	Величина оплати на робітника
--------------------	-------------------------	---------------	---------------------	---------------------------	------------------------------

				(грн.)	(грн.)
Монтаж обладнання	7,50	2	1,10	52,7	395,31
Підготовка робочого місця конструктора інформаційно- вимірювальної техніки	5,50	3	1,35	64,6	355,78
Встановлення програмного забезпечення розробки інформаційно- вимірювальної техніки	6,20	4	1,50	71,8	445,63
Вхідний контроль компонентів та дослідних вузлів	2,50	5	1,70	81,4	203,65
Монтаж компонентів досліджуваної техніки	6,50	5	1,70	81,4	529,48
Випробування дослідних блоків	4,25	5	1,70	81,4	346,20
Налагодження блоків та вузлів	2,30	6	2,00	95,8	220,42
Технічна підтримка експерименту	10,0	3	1,35	64,6	646,88
Всього					3143,3

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%} \quad (4.5)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (32363,68 + 3143,33) \cdot 10 / 100\% = 3550,70 \text{ (грн.)}$$

4.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.6)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (32363,68 + 3143,33 + 3550,70) \cdot 22 / 100\% = 8592,70 \text{ (грн.)}$$

4.3.3 Сировина та матеріали

Витрати на матеріали (М), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j} \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$C_{\text{в}j}$ – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг).

$$M_1 = 1,0 \cdot 230,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 253,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величин а відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
FLASH-пам'ять BAFF 32GB	230,0	1,0	0	0	253,00
Диск оптичний COOL-CD/RW	27,00	4,0	0	0	118,80
Картридж для принтера HP- 1568	1920,	1,0	0	0	2112,00
Начиння канцелярське COOL	173,0	4,0	0	0	761,20
Органайзер офісний COOL light	144,0	4,0	0	0	633,60
Папір для заміток COOL- В (A5)/70	97,00	2,0	0	0	213,40
Папір канцелярський офісний COOL- 500 (A4)	202,0 0	2,0	0	0	444,40
Тека для паперів	98,00	4,0	0	0	431,20

Провід живлення	24,00	2,5	0	0	66,00
Провід монтажний	16,00	1,1	0	0	19,36
Припій ПОС-92	538,0	0,030	0	0	17,75
Флюс	405,0	0,040	0	0	17,82
Лак термостійкий	328,0	0,050	0	0	18,04
Електроліти (розчини з відомими характеристиками провідності)	52,00	1,000	0	0	57,20
Матеріали для виготовлення електродів (графіт)	742,0	0,080	0	0	65,30
Вода з різними хімічними домішками для тестування	52,00	1,000	0	0	57,20
Всього					5286,27

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_b), які використовують при проведенні НДР на тему «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_{\text{с}} = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_{\text{в}} = 1 \cdot 845,00 \cdot 1,1 = 929,50 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, (грн)	Сума, (грн)
Мікроконтролер STM32F429	1	845,00	929,50
MOSFET	1	560,00	616,00
Імпульсний трансформатор	1	759,00	834,90
Електроди для вимірювання провідності	1	145,00	159,50
З'єднувальні елементи (дроти, клеми)	1	62,00	68,20
Всього			2608,1

4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{нр.і}} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{нр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які

придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 6259,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 6884,90 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.7

Таблиця 4.7 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн)	Вартість, (грн)
Лабораторний кондуктометр для вимірювання електролітичної провідності	1	6259,00	6884,9
Осцилограф	1	9620,00	10582,
Лабораторний блок живлення	1	2400,00	2640,0
Всього			20106

4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог},i} \cdot K_i \quad (4.10)$$

де $C_{\text{прог}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог},i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прг}} = 9750,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 10725,00 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.8

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн)	Вартість, (грн)
Програмно-математичне середовище розробки MatLab 20 Pro	1	9750,00	10725
Пакет Visual System Simulator	1	5120,00	5632,0
Всього			16357

4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_6}{T_v} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12} \quad (4.11)$$

де $Ц_6$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн);

$t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_v – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{\text{обл}} = (26520,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1105,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.9

Таблиця 4.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, (грн)	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, (грн)
Персональний комп'ютер розробника інформаційно-вимірювальної техніки	26520,00	2	1	1105,00
Електронно-графічна система проектування	43799,00	2	1	1824,96
Робоче місце інженера-розробника інформаційно-вимірювальної техніки	9460,00	5	1	157,67
Монтажне обладнання	8560,00	4	1	178,33
Вольтметр цифровий	6850,00	5	1	114,17
Оргтехніка	8880,00	5	1	148,00
Приміщення розробки інформаційно-вимірювальної техніки	400000,00	30	1	1111,11

ОС Windows	6520,00	2	1	271,67
Прикладний пакет Microsoft Office	6510,00	2	1	271,25
Принтер виводу графічної інформації	8299,00	5	1	138,32
Всього				5320,47

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i} \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

$K_{впi}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{впi} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,26 \cdot 190,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 542,41 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.10

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, (грн)
Персональний комп'ютер розробника	0,26	190,0	542,41

інформаційно-вимірювальної техніки			
Електронно-графічна система проектування	0,42	190,0	876,20
Робоче місце інженера-розробника інформаційно-вимірювальної техніки	0,10	190,0	208,62
Монтажне обладнання	0,01	25,0	2,75
Вольтметр цифровий	0,09	50,0	49,41
Оргтехніка	0,36	1,5	5,93
Принтер виводу графічної інформації	0,25	2,5	6,86
Осцилограф	0,15	50,0	82,35
Лабораторний кондуктометр для вимірювання електролітичної провідності	0,07	50,0	38,43
Всього			1812,9

4.3.9 Службові відрядження

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

4.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

4.3.11 Інші витрати

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%} \quad (4.13)$$

де H_{ib} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ib} = 50\%$.

$$I_b = (32363,68 + 3143,33) \cdot 50 / 100\% = 17753,51 \text{ (грн.)}$$

4.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%} \quad (4.14)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (32363,68 + 3143,33) \cdot 100 / 100\% = 35507,01 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_{\epsilon} + B_{спец} + B_{пр} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{\epsilon} + B_{нзв}. \quad (4.15)$$

$$B_{заг} = 32363,68 + 3143,33 + 3550,70 + 8592,70 + 5286,27 + 2608,10 + 20106,90 + 16357,00 + 5320,47 + 1812,96 + 0,00 + 0,00 + 17753,51 + 35507,01 = 152402,63 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} \quad (4.16)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,95$.

$$ЗВ = 152402,63 / 0,95 = 160423,83 \text{ (грн.)}$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

Результати дослідження проведені за темою «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

Розробка чи суттєве вдосконалення машини (механізму, приладу, пристрою) для використання кінцевими споживачами.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	100	120	120	100

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 5500 осіб;

$Ц_6$ – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки,

прийmemo 4850,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 158,55 (грн.)

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [27]

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{\vartheta}{100}) \quad (4.17)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 38\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року

$$\begin{aligned} \Delta \Pi_1 &= (158,55 \cdot 5500,00 + 5008,55 \cdot 100) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 355065,21 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\begin{aligned} \Delta \Pi_2 &= (158,55 \cdot 5500,00 + 5008,55 \cdot 220) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 510507,36 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\begin{aligned} \Delta \Pi_3 &= (158,55 \cdot 5500,00 + 5008,55 \cdot 340) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 665949,51 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\begin{aligned} \Delta \Pi_4 &= (158,55 \cdot 5500,00 + 5008,55 \cdot 440) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 795484,64 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$ПП = \sum_{i=1} \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (4.18)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,12$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} ПП &= 355065,21/(1+0,12)^1 + 510507,36/(1+0,12)^2 + 665949,51/(1+0,12)^3 + \\ &+ 795484,64/(1+0,12)^4 = 317022,51 + 406973,34 + 474009,71 + 505544,87 = \\ &= 1703550,43 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot ЗВ, \quad (4.19)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв} = 2$;

$ЗВ$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 160423,83 (грн.)

$$PV = k_{інв} \cdot ЗВ = 2 \cdot 160423,83 = 320847,65 \text{ (грн.)}$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (4.20)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 1703550,43 (грн);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 320847,65 (грн.)

$$E_{абс} = ПП - PV = 1703550,43 - 320847,65 = 1382702,78 \text{ (грн.)}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_e , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_e = T_{жс} \sqrt{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (4.21)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 1382702,78 (грн);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 320847,65 (грн);

$T_{жс}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_e = T_{жс} \sqrt{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1 + 1382702,78/320847,65)^{1/4} - 1 = 0,52.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{мін}$

$$\tau_{min} = d + f \quad (4.22)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,4.

$\tau_{min} = 0,11 + 0,4 = 0,51 < 0,52$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g} \quad (4.23)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,52 = 1,93 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

4.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності» становить 36,3 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого

коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,04 рази.

Також термін окупності становить 1,93 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності».

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було проведено комплексне дослідження сучасних методів контролю протікання води, зокрема акцентовано увагу на використанні електролітичної провідності як перспективного інструменту для виявлення витоків. Актуальність цієї теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності контролю за водними ресурсами в умовах зростаючої потреби у збереженні екології та оптимізації виробничих процесів.

У результаті проведеного аналізу сучасних методів контролю, включаючи акустичні, ультразвукові та гравіметричні підходи, були виявлені їхні переваги та недоліки. Це підкреслило важливість пошуку нових, більш ефективних рішень для виявлення витоків, що стали основою для розробки моделі засобу контролю на базі електролітичної провідності.

Розроблена модель демонструє високу чутливість і швидкість вимірювань, що робить її ефективним інструментом для моніторингу витоків у реальному часі. Експериментальні дослідження підтвердили її здатність до точного виявлення змін у складі води, що можуть свідчити про наявність витоків.

Результати роботи відкривають нові можливості для впровадження електролітичної провідності в різних галузях промисловості, таких як водопостачання, хімічна промисловість та екологічний моніторинг. У подальшому дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення технології, розширення функціональних можливостей пристрою та інтеграцію з сучасними інформаційними системами для більш ефективного управління водними ресурсами.

Таким чином, виконане дослідження має практичне значення і може стати основою для подальших розробок у сфері контролю витоків води, що, в свою чергу, сприятиме збереженню природних ресурсів і покращенню екологічної ситуації.

Термін окупності становить 1,93 р., що менше 3-х років, що свідчить про

комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Комп'ютеризована система контролю протікання води [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Taras_Zozulia.pdf](#)
2. Причини виникнення витоків води у квартирах та будинків [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://leak.com.ua/blog/prichiny-vozniknoveniya-utechek-vody-v-kvartirah-i-domah>
3. Електроматеріалознавство [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/posibnyky-prof-tech/Elektromaterialoznavstvo_27_01_2023_compressed.pdf
4. "Фізична хімія води" – В. С. Курляндський, В. А. Діденко 1988, 2, 35-100 "Електролітична провідність води", "Залежність провідності від складу води та температури".
5. "Електрохімічні сенсори" – Л. М. Шульц, Г. П. Міллер 2003, 3, 120-160 "Принципи роботи електрохімічних сенсорів", "Застосування сенсорів для виявлення витоків води".
6. "Принципи аналітичної хімії" – Д. А. Скоць 2012, 8, 215-250 "Методи вимірювання провідності", "Використання провідності для аналізу води".
7. "Sensors and Actuators B: Chemical" (Книга з серії журналів, використовується для статей по сенсорах), статті по виявленню витоків води можна знайти в випусках за останні 5 років.
8. "Introduction to Electrochemical Science and Engineering" – Е. Кендіш 2011, 7, 320-350 "Електрохімічні сенсори", "Застосування провідності для виявлення витоків води".
9. "Electrolytic Conductivity of Water and its Measurement" – J. B. Tareen, Journal of Electrochemical Society 2016, 32-45 основні дані по електролітичній провідності
10. Прилади для аналізу води [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://labprice.ua/priladi-dlya-laboratoriy/priladi-dlya-analizu-vodi/>

11. Контроль протікання води і витоку газу [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/372c05bc-ad4b-43ad-91f2-556faa366591/content>
12. Сучасні системи виявлення протікання води [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://novainfo.ru/article/8708>
13. Захист від протікання води [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://allsmart.by/stati/vsyo-o-sisteme-zashhityi-ot-protechki-vodyi-v-kvartire-ili-dome.html>
14. "Water Leakage Detection Based on Conductivity Measurement" – Sensors and Actuators B: Chemical 2018, 123-135
15. "Electrochemical sensors for water leak detection" – Sensors 2017, 50-60
обговорення принципів роботи електрохімічних сенсорів для виявлення витоків води.
16. "Application of Conductivity Sensors in Water Leak Detection" – Journal of Hazardous Materials, 2020, 211-220 сновна інформація про застосування провідності для детекції витоків
17. "Real-time Detection of Water Leaks using Conductivity-Based Sensors" – IEEE Sensors Journal 2019, 85-95 вивчення застосування сенсорів для реального часу виявлення витоків води.
18. Принцип роботи систем контролю протікання води [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.forter.com.ua/princip-roboti-sistem-kontrolyu-protikannya-vodi/>
19. Застосування електролітичної провідності [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ukrayinska.libretexts.org/Хімія/Загальна_хімія/Книга%3A_Хімія_\(Lower\)/08%3A_Рішення/8.10%3A_Іони_та_електроліти/8.10.9E%3A_Деякі_застосування_електролітичної_провідності](https://ukrayinska.libretexts.org/Хімія/Загальна_хімія/Книга%3A_Хімія_(Lower)/08%3A_Рішення/8.10%3A_Іони_та_електроліти/8.10.9E%3A_Деякі_застосування_електролітичної_провідності)
20. Вимірювання електролітичної провідності [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://www.ecoinstrument.com.ua/vimiryuvannya_elektrolitichnoi_providnosti/

21. "Design and Application of Electrochemical Sensors for Leakage Detection in Water Distribution Systems" – Sensors and Actuators A: Physical, 2021, 102-110
описання проектування сенсорів для виявлення витоків води в системах водопостачання.
22. ISO 9107: Water Quality – Determination of Electrical Conductivity 2011
10-15 основні вимоги до вимірювання електричної провідності води.
23. ГОСТ 2874-82: Вода питна. Метод визначення електричної провідності 1982, 5-6 сновний метод вимірювання провідності води.
24. ISO 11885: Water Quality – Determination of Selected Elements by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) 2007, 7, 56-70
методи визначення різних елементів у воді за допомогою спектрометрії, що також включає вимірювання провідності.
25. Іванов І. О. Методи контролю витоків води в інженерних системах / І. О. Іванов, М. П. Васильченко – Київ: НТУУ «КПІ», 2019. – 215 с.
26. Petros, A., & Johnson, T. "Electrical Conductivity and Water Leak Detection Techniques" / Journal of Electrochemical Applications – 2020. – Vol. 18, No. 4. – pp. 345–360.
27. Wang, H., Zhang, L. "Advances in Electrochemical Methods for Leak Detection in Industrial Applications" / International Journal of Industrial Chemistry – 2022. – Vol. 15, No. 2. – pp. 123–145.
28. Ніколаєнко А. П. Основи гідродинамічного контролю у водопостачанні / А. П. Ніколаєнко, Є. В. Симоненко – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2017. – 194 с.
29. Кравець О. М. Електрохімічні методи контролю витоків води / О. М. Кравець, І. В. Мельничук – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – 156 с.
30. "Water Leak Detection: A Comprehensive Review of Methods, Challenges, and Future Directions" / M. R. Farahani, H. Akbari – Sensors and Actuators B: Chemical – 2023. – Vol. 380, No. 5. – pp. 89–102.
31. Калюжний С. А. Сучасні методи моніторингу водопостачання / С. А. Калюжний – Одеса: ОНАХТ, 2020. – 98 с.

32. ДСТУ 4817:2016 – Вода питна. Загальні вимоги та методи контролю якості 2016, 4, 40-55 рекомендації щодо контролю якості води, в тому числі методи для визначення електричної провідності.

33. ASTM D1125-20: Standard Test Method for Electrical Conductivity and Resistivity of Water 2020, 12 деталі методів вимірювання провідності води, що можуть бути використані для контролю витоків.

34. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

35. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

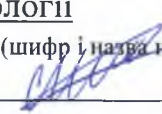
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ

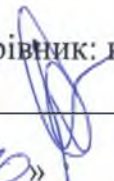
Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-23м
спеціальності 175 – Інформаційно вимірювальні
технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Мельник О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІРТС

 Дудатьєв І.А.

(прізвище та ініціали)

«10» 12 2024 р.

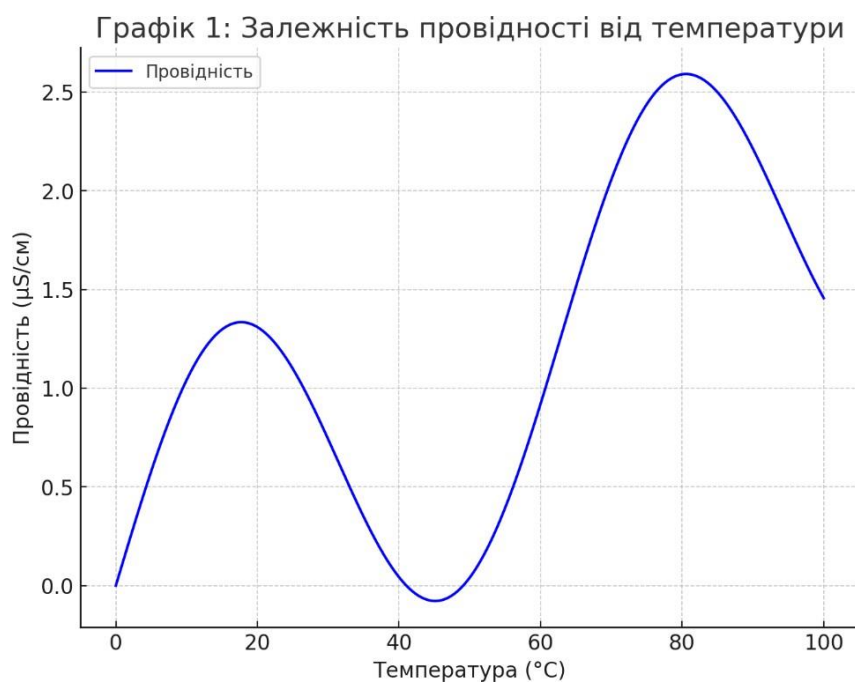


Рисунок 1 – Залежність провідності води від температури

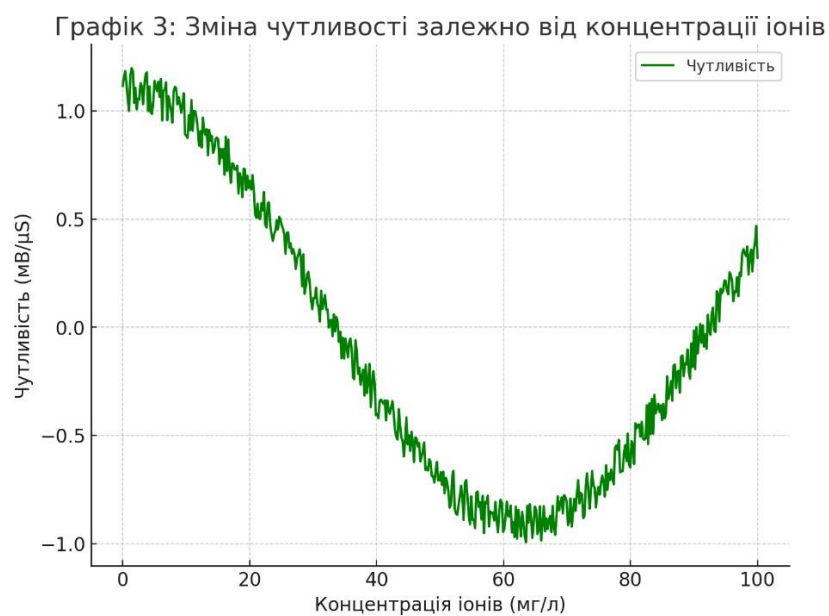


Рисунок 2 – Зміна чутливості залежно від концентрації іонів

БЛОК-СХЕМА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ

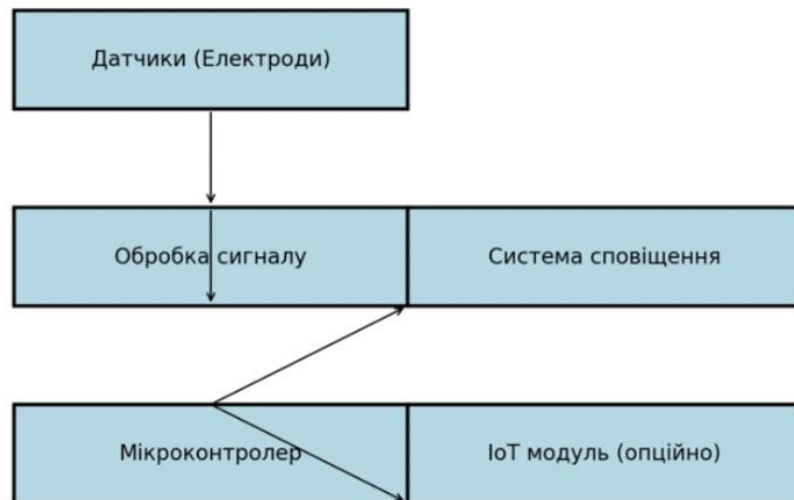


Рисунок 3 - Блок-схема засобу контролю протікання води

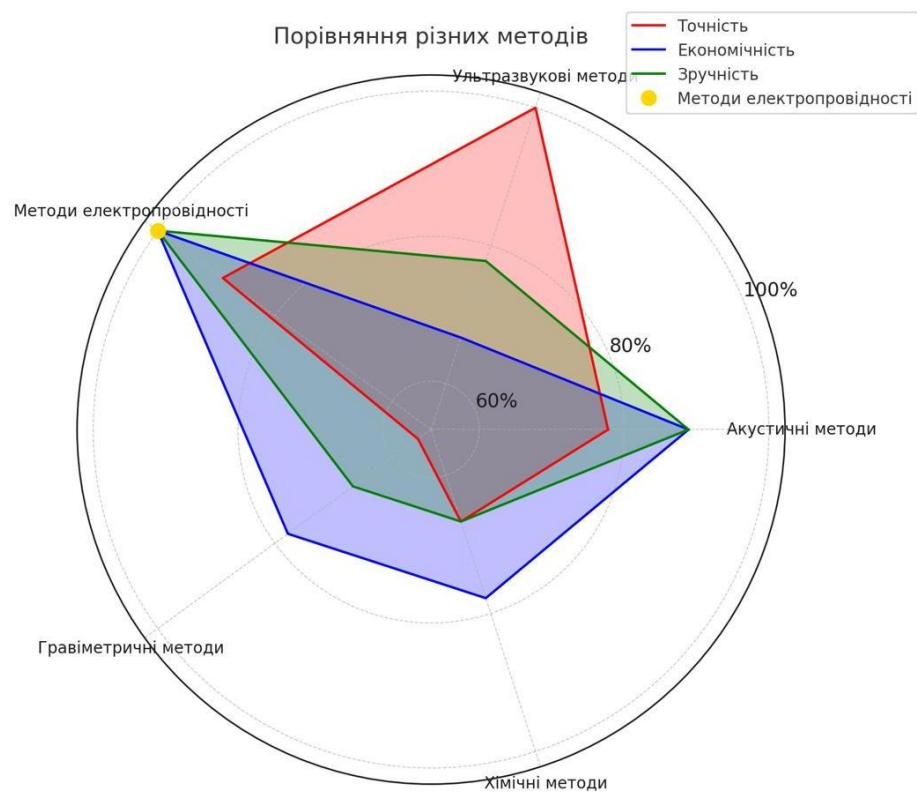


Рисунок 4 – Порівняння різних методів

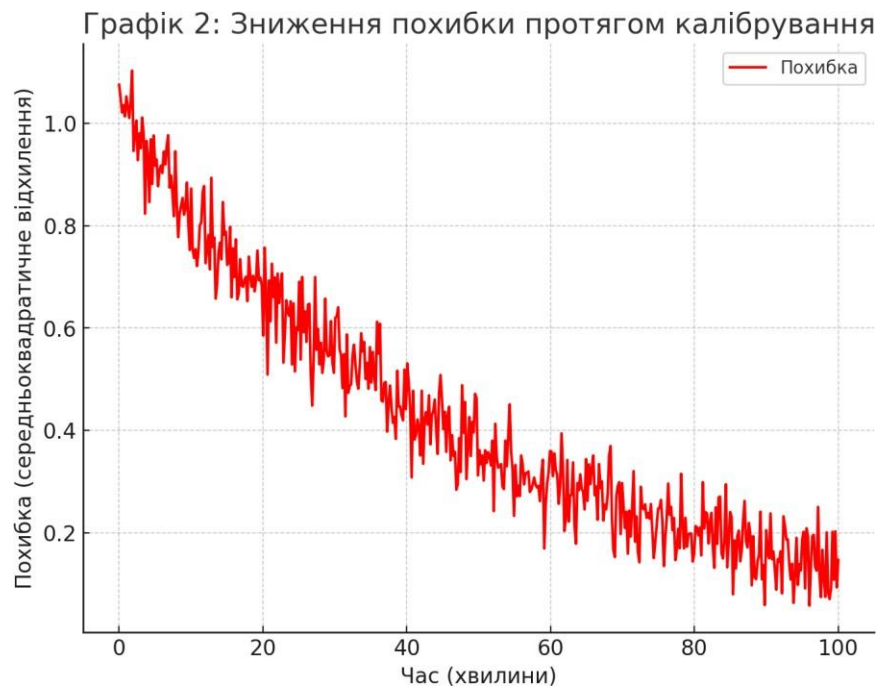


Рисунок 5 – Зниження похибки протягом калібрування

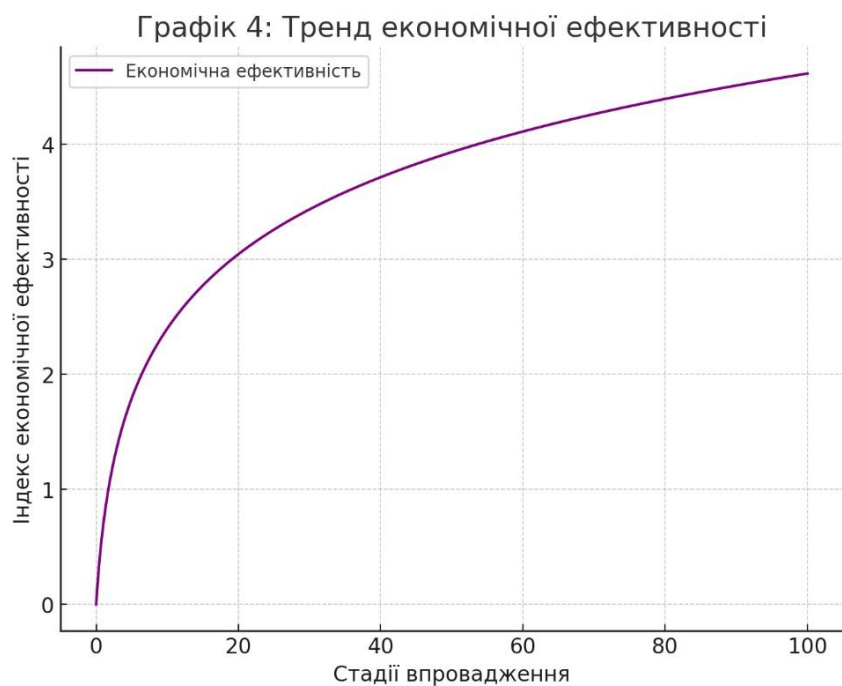


Рисунок 6 – Тренд економічної ефективності на різних етапах впровадження

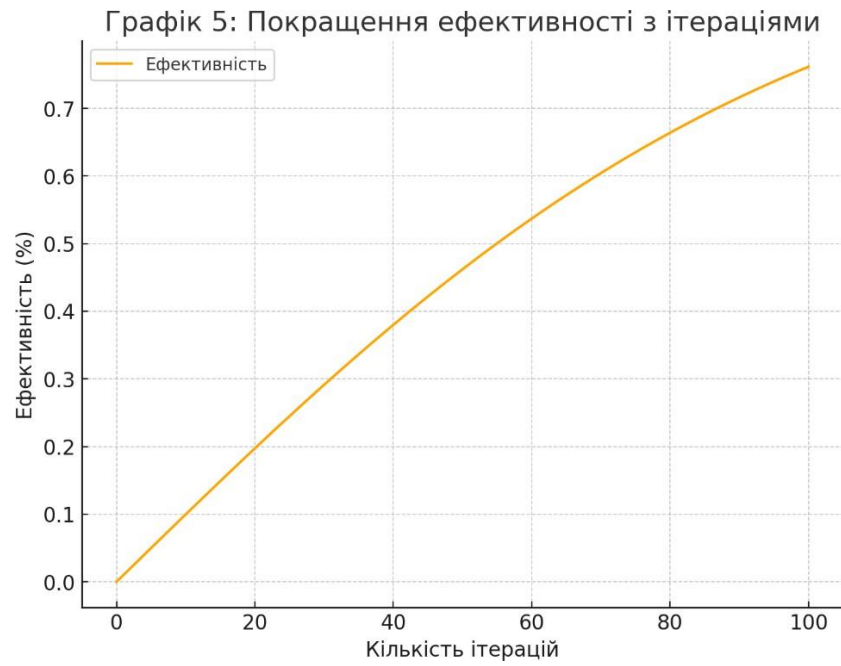


Рисунок 7 – Покращення ефективності з ітераціями

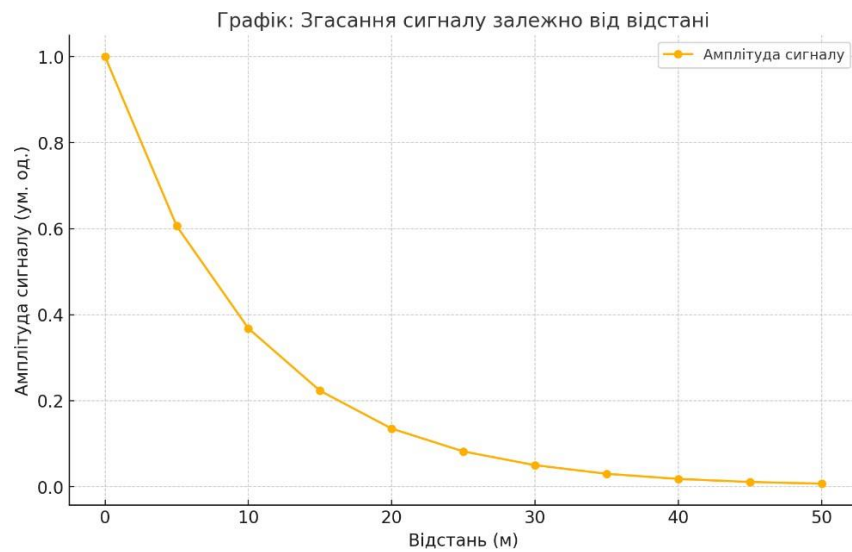


Рисунок 8 – Згасання сигналу залежно від відстані

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ПРОТІКАННЯ ВОДИ ВОДИ НА ОСНОВІ
ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Засіб контролю протікання води на основі методу електролітичної провідності»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 98,0% Схожість 2,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Олексій МЕЛЬНИК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ігор ДУДАТЬЄВ
(прізвище, ініціали)

Додаток В
(довідниковий)

Фрагмент роботи програмного забезпечення.
зчитування даних із сенсора, перевірка порогових
значень, сигналізацію, збереження даних та їх виведення.

```
#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <stdbool.h>

// Константи

#define THRESHOLD 500 // Порогове значення провідності (в умовних
одинацях)

#define DATA_POINTS 100 // Кількість даних для збереження в архів

// Структура для збереження даних
typedef struct {
    int conductivity; // Значення провідності
    char timestamp[20]; // Час вимірювання
} Measurement;

// Функція імітації зчитування з сенсора
int read_sensor() {
    // Імітація отримання даних (зазвичай тут буде взаємодія з АЦП)
    return rand() % 1000; // Генеруємо випадкове значення від 0 до 999
}
```

```
// Функція для перевірки на перевищення порогу
bool check_threshold(int conductivity) {
    return conductivity > THRESHOLD;
}

// Функція для збереження даних
void save_data(Measurement *archive, int *index, int conductivity) {
    if (*index >= DATA_POINTS) *index = 0; // Перезаписуємо при переповненні
    archive[*index].conductivity = conductivity;
    snprintf(archive[*index].timestamp, 20, "2024-11-28 12:00"); // Задаємо час
    (*index)++;
}

// Функція для виведення даних
void print_data(Measurement *archive, int count) {
    printf("Архів вимірювань:\n");
    for (int i = 0; i < count; i++) {
        printf("Провідність: %d, Час: %s\n", archive[i].conductivity,
            archive[i].timestamp);
    }
}

// Основна програма
int main() {
    Measurement archive[DATA_POINTS]; // Архів для збереження даних
    int archive_index = 0;           // Індекс для запису в архів
```

```
int cycles = 10;           // Кількість вимірювань для тесту

printf("Початок моніторингу...\n");

for (int i = 0; i < cycles; i++) {
    int conductivity = read_sensor();
    printf("Зчитано провідність: %d\n", conductivity);

    // Перевіряємо поріг
    if (check_threshold(conductivity)) {
        printf("!!! Попередження: перевищення порогового значення (%d)\n",
THRESHOLD);
    }

    // Зберігаємо дані
    save_data(archive, &archive_index, conductivity);
}

// Виводимо збережені дані
print_data(archive, archive_index);
printf("Моніторинг завершено.\n");
return 0;
}
```