

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 якості питної води»

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

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пастух Є.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ІРТС

Дудатьєв І.А.

(прізвище та ініціали)

«10» 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ,

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

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пастуху Євгенію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Засіб контролю якості питної води

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.

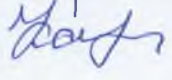
2. Строк подання студентом роботи 09.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: Максимальна відносна похибка засобу - 1%. Тип перетворювача (чутливий елемент) – кондуктометричний. Мікропроцесорна платформа – ATmega16A-PU. Мова програмування – C.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Огляд засобів та методів для дослідження аналізу якості питної води. огляд та аналіз методів та засобів для контролю якості питної води. розробка кондуктометричного сенсора та його математичної моделі для визначення концентрації домішок у воді. критеріальний аналіз якості води. розрахунок метрологічних характеристик розробленого засобу. економічна частина. додатки, список використаної літератури.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень). Дослідний зразок "1". Дослідний зразок "2". Дослідний зразок "3". Дослідний зразок "4". Дослідний зразок "5". Засіб контролю якості води TDS ES. Мультимонітор якості води WALCOM PHT-027. Давач електропровідності - GDX-CON.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент каф. ІРТС, к.т.н., 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	Приймає
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

(підпис)

Пастух Є.О.

Керівник роботи

(підпис)

Дудатьєв І.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 543.3

Пастух Є.О. Засіб контролю якості питної води. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології, освітня програма - Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. Вінниця: ВНТУ, 2024. 108 с. На укр. мові. Бібліогр.: 43 назв; рис.: 33; табл. 11.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено засіб контролю якості питної води. Розроблено та досліджено адекватність математичної моделі сенсора електропровідності, призначеного для оцінювання якості питної води. Математична модель сенсора електропровідності продемонструвала високу відповідність експериментальним даним. Встановлено, що модель коректно описує взаємозв'язок між концентрацією йонів у воді та її електропровідністю в діапазоні параметрів, що відповідають якості питної води. Проведено порівняння теоретичних результатів із експериментальними даними, що дозволило оцінити похибку моделі. Середнє відхилення виміряних значень від розрахованих склало не більше 1%, що свідчить про високу точність сенсора.

Ключові слова: вимірювальний перетворювач, сенсор, математична модель, електропровідність, опір, РРМ.

ABSTRACT

E. Pastuh. Drinking water quality control tool. Master's qualification thesis on specialty 175 Information and measurement technologies, educational programme - Computerised information and measurement technologies. Vinnytsia: VNTU, 2024. 108 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 43 titles; Fig.: 33; table 11.

In the master's qualification work, a tool for monitoring the quality of drinking water was developed. The adequacy of the mathematical model of a conductivity sensor designed to assess drinking water quality was developed and investigated. The mathematical model of the conductivity sensor demonstrated a high correlation with experimental data. It was established that the model accurately describes the relationship between the ion concentration in water and its conductivity within the parameter range corresponding to drinking water quality. A comparison of theoretical results with experimental data was conducted, allowing for an evaluation of the model's error. The average deviation of measured values from calculated ones did not exceed 1%, indicating the high accuracy of the sensor.

Keywords: measuring transducer, sensor, mathematical model, electrical conductivity, resistance, PPM.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	
АНАЛІЗУ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ	11
1.1 Особливості об'єкту дослідження	11
1.2 Особливості фізико-хімічного складу природних вод	14
1.3 Нормування якості води для різних типів водокористування	22
1.4 Задачі дослідження.....	26
2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ	
КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ.....	28
2.1 Аналіз методів контролю якості питної води	28
2.2 Огляд сучасних засобів для проведення лабораторного аналізу якості води.....	32
2.3 Висновки до розділу.....	36
3 РОЗРОБКА КОНДУКТОМЕТРИЧНОГО СЕНСОРА ТА ЙОГО	
МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ	
КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШОК У ВОДІ.....	38
3.1 Загальні поняття електропровідності.....	38
3.2 Теоретичне дослідження та аналіз електрохімічних процесів в кондуктометричній комірці	39
3.3 Електрична модель кондуктометричного сенсора	44
3.4 Моделювання розподілу електричного поля в комірках	47
3.5 Конструкція засобу контролю концентрації домішок у питній воді.....	50
3.6 Висновки до розділу.....	52
4 КРИТЕРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ВОДИ. РОЗРАХУНОК	
МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗРОБЛЕНОГО	
ЗАСОБУ	53
4.1 Оцінка якості питної води за різними критеріями	53
4.2 Давачі електричної провідності водних розчинів	59

4.3 Дослідження адекватності розробленої математичної моделі. Аналіз та оцінення похибок вимірювань	64
4.4 Розробка порівняльної оцінки якості бутильованої питної води різних виробників.....	67
4.5 Висновки до розділу.....	71
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	72
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	72
5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	76
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	78
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором	90
5.5 Висновки до розділу.....	94
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал	102
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи	106
Додаток В (довідниковий) Фрагмент лістингу програмного забезпечення отримання та оброблення інформаційного сигналу з кондуктометричного сенсора	108

ВСТУП

Актуальність роботи. Забезпечення якості питної води є однією з ключових умов збереження здоров'я населення та екологічної безпеки. Зростання антропогенного навантаження, техногенні аварії та природні фактори можуть призводити до погіршення якості водних ресурсів, що вимагає застосування сучасних підходів до їх моніторингу.

На сьогоднішній день існує широкий спектр методів та засобів оцінювання якості води, проте багато з них є дорогими, потребують тривалого часу для отримання результатів або складного обладнання. У цьому контексті актуальною є розробка доступних і точних засобів для оперативного контролю якості води.

У даній роботі представлено розробку засобу контролю якості питної води, що базується на застосуванні сенсора електропровідності. Цей підхід дозволяє ефективно оцінювати основні параметри води, такі як концентрація розчинених солей, з використанням математичних моделей для підвищення точності вимірювань.

Тому створення засобу контролю, який забезпечить високу точність і надійність результатів, відповідатиме сучасним вимогам стандартизації та зможе застосовуватися як у лабораторних умовах, так і в польових дослідженнях.

Розробка і впровадження такого засобу сприятиме підвищенню рівня контролю за якістю води та допоможе мінімізувати ризики, пов'язані з використанням неякісної питної води.

Метою роботи є розробка засобу контролю якості питної води на основі методу електричної провідності.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати ряд **задач**:

- Визначити ключові методи та інструменти, що застосовуються для аналізу якості питної води;
- Дослідити якість питної води з використанням методу вимірювання електропровідності;

- Провести аналіз характеристик питної води за допомогою електричного тестера;
- Здійснити порівняльну оцінку якості бутильованої питної води різних брендів;
- Розробити пристрій для моніторингу концентрації домішок у питній воді;
- Створити нові високоточні кондуктометричні сенсори з покращеними метрологічними параметрами;
- Провести тестування розробленого пристрою на відповідність вимогам стандартів якості питної води згідно з ISO.

Об'єктом дослідження в магістерській роботі є процес вимірювального контролю шкідливих домішок у воді.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення точності вимірювання шкідливих домішок у воді.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач у роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, теорії планування наукового експерименту в ході експериментальних досліджень, фізико-хімічний та органолептичний метод дослідження якості питної води, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше розроблено інноваційну конструкцію електродних комірок, яка забезпечує мінімізацію впливу електрохімічних та термодинамічних процесів, що відбуваються як всередині комірки, так і в зовнішньому середовищі, що дозволило значно зменшити мінімальний об'єм розчину, необхідний для проведення вимірювань.

Практичне значення магістерської роботи. У роботі отримано ряд практичних результатів:

1. Створено структурно-алгоритмічну організацію пристрою для визначення шкідливих домішок у воді.

2. Розроблено структурну схему пристрою для вимірювання шкідливих домішок у воді.

3. Запропоновані методики можуть бути використані для аналізу якості питної води як у промислових масштабах, так і в побутових умовах.

1 ОГЛЯД ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АНАЛІЗУ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

1.1 Особливості об'єкту дослідження

Вода займає унікальне місце серед природних ресурсів Землі, адже є незамінною. Її потреба залишається актуальною у всі часи та в будь-якому куточку планети, де існує життя. Вода — одна з найпоширеніших і найважливіших речовин на Землі. У природі вона ніколи не зустрічається у хімічно чистому вигляді. Постійно взаємодіючи з різноманітними речовинами, вода стає складним розчином із багатокomпонентним складом.

Склад природної води залежить від хімічних і фізико-хімічних процесів, головні з яких розчинення твердих речовин водою, виділення з розчину опадів, поглинання газів, обмін іонами між твердою речовиною і розчином, процеси гідролізу, комплексоутворення, окислювально-відновні процеси. На формування складу природних вод також впливають біохімічні процеси. До них відносяться мінералізація органічної речовини; фотосинтез, який визначає склад розчинених газів і поява в природній воді органічної речовини; біохімічні процеси за участю неорганічних сполук, наприклад, утворення аміаку, нітритів, нітратів, сірководню та ін. В результаті абіотичних і біотичних процесів може істотно змінюватися токсичність речовин у воді і ступінь забруднення ними водойми.

Так, процеси біометілювання ртуті призводять до утворення з неорганічних солей більш токсичних ліпофільних продуктів, здатних як до кумуляції в організмах гідробіонтів, так і до улетучиванню.

Основні етапи формування хімічного складу природних вод. Процес формування хімічного складу природних вод здійснюється в кілька етапів, на кожному з яких визначальну роль відіграють різні фактори.

Першим етапом формування поверхневих вод є взаємодія їх з атмосферою. Ще перебуваючи в атмосфері, дрібні краплі води при своєму падінні на Землю захоплюють з повітря різні речовини. Джерелом мінерального

складу атмосферних опадів є вулканічні викиди, оксиди азоту, які утворюються при грозових розрядах, а також антропогенне забруднення повітря, обумовлене промисловими викидами і роботою автотранспорту. До складу атмосферних опадів входять і радіоактивні забруднення, і пестициди. Загальна кількість речовин, розчинених і зважених в дощовій воді, коливається в межах 10 - 20 мг / дм³. Це, перш за все, гази - азот, кисень, діоксид вуглецю, оксиди азоту та сірки, іони солей (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+). Крім того, дощові води містять мікроорганізми і пил у вигляді механічних домішок.

Другим етапом формування складу природних вод є взаємодія випавших атмосферних опадів з ґрунтовим покривом, при цьому важливу роль відіграє наявність рослинності і її характер. Придбаний при зіткненні з ґрунтом хімічний склад води залежить від характеру ґрунту. Вода, фільтруючи через ґрунт, вилуговує її розчинні частини, змінюючи при цьому свій склад: збільшується вміст іонів і органічних речовин, змінюється вміст розчинених газів. При взаємодії води з ґрунтом вміст кисню в воді зменшується, а оксиду вуглецю (IV) збільшується, що пояснюється окисненням органічних речовин. Поряд з розчиненням солей спостерігаються явища адсорбції та іонного обміну. Якщо вода фільтрується через бідні солями торф'янисто-тундрові або болотні ґрунту, то вона збагачується великою кількістю органічних речовин і лише незначно - іон.

Більше збагачують іонами воду чорноземні і каштанові ґрунти, ще більше солонцюваті. Значною іонообменною здатністю володіють багато ґрунту, особливо чорнозем і торф, що пов'язано з наявністю в них гумінових кислот.

Третім і основним етапом формування хімічного складу природних вод є їх взаємодія з мінералами літосфери. Породи, що складають земну кору, можуть збагачувати природні води солями в результаті вивітрювання вивержених і утворилися з них уламкових порід і розчинення солей, що знаходяться в осадових породах. Основна частина мінералів, що утворилися в глибинних шарах Землі, потрапивши в умови біосфери, починає поступово змінюватися і руйнуватися. Це руйнування називають вивітрюванням. Залежно від того, яким

агенту належить провідна роль в руйнуванні гірських порід, розрізняють: - фізичне вивітрювання; - хімічне вивітрювання; - біологічне вивітрювання. Зазвичай вони відбуваються одночасно. Хімічне вивітрювання гірських порід відбувається під дією води і повітря в результаті різних хімічних реакцій, перш за все гідролізу, гідратації, іонного обміну, окислення, карбонатизації і звичайного хімічного розчинення. Для мінералізації води особливе значення має вивітрювання різних алюмосилікатів, які розкладаються, головним чином при гідролізі.

Так, гідроліз звичайного польового шпату (ортоклаз) призводить до утворення нового силікату - каоліну, що становить основу різних глин. Вивітрювання піддаються і сульфіди металів, причому в цьому випадку процес прискорюється за рахунок окисного дії кисню. В результаті окислення сульфідів важких металів виходять сульфати металів і (або) сірчана кислота, наприклад: Сульфати заліза (II) окислюються, утворюючи гідроксид заліза (III) Сірчана кислота енергійно взаємодіє з гірськими породами, особливо карбонатними, при цьому утворюються більш розчинні в порівнянні з карбонатами сульфати і вуглекислий газ. Розчинними продуктами процесів вивітрювання є солі $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , KHCO_3 , K_2SO_4 , MgSO_4 , NaCl , а також похідні кремнієвої кислоти і мікроелементи, що призводить до накопичення у воді іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} .

Продукти вивітрювання протягом геологічних періодів витягувалися текучими водами. Частина іонів при цьому акумулювалися в безстічних областях, інша виносилася в океан. У формуванні аніонного складу природних вод важливу роль зіграли виділяються при вулканічних виверженнях газів: сірководень, аміак, хлористий водень, оксид сірки (IV). Поряд з багатовіковою акумуляцією іонів в океані відбувалося і відбувається в даний час виділення їх з морської води у вигляді солей і опадів. В результаті геотектонических причин випали на дно солі згодом виявилися на суші, утворюючи поклади осадових порід. Під дією текучих вод морські відкладення легко розчинних солей знову розчинялися і переносилися в океан. Таким чином, між материком і океаном

існує безперервний обмін солями. Крім прямого розчинення у воді, породи можуть обмінюватися своїми іонами з іонами води.

Свій відбиток на формування хімічного складу природних вод наклало і розвиток життя на Землі. Розкладання в ґрунтах рослинних залишків, що призводить до утворення CO_2 і органічних кислот, прискорило процеси хімічного розчинення мінералів в ґрунтах і підстилаючих породах. Мінералізації природних вод сприяє і діяльність ґрунтових мікроорганізмів, які переробляють органічні речовини. Безпосередній вплив на хімічний склад природних вод надає господарська діяльність людини, тому що скидаються у водойми побутові та промислові стічні води різко змінюють природний хімічний склад вод.

Особливо великий вплив на зміну хімічного складу природних вод надають стічні води целюлозно-паперової, хімічної і нафтохімічної промисловості, підприємств чорної і кольорової металургії, комунально-побутового господарства, а також змив мінеральних і органічних добрив, баластних речовин, пестицидів з полів в річки, озера, моря і їх вимивання за профілем ґрунтів до ґрунтових вод.

1.2 Особливості фізико-хімічного складу природних вод

Хімічні компоненти природних вод ділять на 6 груп:

- головні іони;
- розчинені гази;
- розчинені органічні речовини;
- мікроелементи;
- біогенні речовини;
- токсичні елементи.

Іноді виділяють ще одну групу - зважені речовини. Головні іони. У значних кількостях в природних водах присутні іони: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- (CO_3^{2-}), SO_4^{2-} , Cl^- , які і називають головними іонами. Зміст їх в прісних

водоймах змінюється в широких межах. Експериментально доведено, що у відкритому океані співвідношення між основними іонами, які формують сольовий склад, залишаються майже незмінними незалежно від загальної концентрації солей. Водночас запропоновано класифікувати всі природні води за домінуючим аніоном на три основні класи:

- кальцієву;
- магнієвую;
- натрієву.

Гідрокарбонатні та карбонатні іони є ключовими компонентами іонного складу як прісних, так і мінералізованих природних вод суші. Їхня поява у воді зумовлена розчиненням солей вугільної кислоти, таких як карбонати кальцію та магнію. Солі CaCO_3 і MgCO_3 слабо розчиняються у воді й переходять у розчин лише за наявності вуглекислого газу.

Іони HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , H^+ і H_2CO_3 у розчині перебувають у певних кількісних співвідношеннях, які визначаються константами дисоціації вугільної кислоти для першого ($K_1 = 3 \times 10^{-7}$) і другого ($K_2 = 4 \times 10^{-11}$) ступенів.

Гідрокарбонатні та карбонатні іони разом із вугільною кислотою формують карбонатну систему хімічної рівноваги. Зміна концентрації одного з цих компонентів спричиняє відповідні зміни вмісту інших. Цей механізм відіграє важливу роль у підтриманні стабільного рівня кислотно-лужної рівноваги (pH) у природних водах.

Хлорид - іони зазвичай займають перше місце серед аніонів у воді океанів, морів, сильно мінералізованих озер, менше їх у воді річок. Джерела хлоридіонів в воді - продукти вивітрювання магматичних порід, в яких хлор присутній в розсіяному стані, колосальні поклади хлористих солей осадових порід, вулканічні викиди.

Широкому поширенню хлоридів в природних водах суші в значній мірі сприяє діяльність людини, тому що велике промислове і фізіологічне значення NaCl сприяє розсіюванню його по земній поверхні. Іони Cl^- не

засвоюються рослинами і бактеріями і виділяються у вільному стані організмами тварин, тому круговорот їх в земній корі нескладний.

Підвищений вміст хлоридів погіршує смакові якості води, робить її малоприсадною для питного водопостачання і обмежує застосування для інших цілей. Концентрація хлоридів і її коливання можуть служити одним з критеріїв забрудненості водойми господарсько-побутовими стоками. Сульфат - іони також найважливіші аніони природної води і разом з хлоридіонами складають головну частину аніонного складу води морів і сильно мінералізованих озер. Зміст сульфатіонов в природних водах лімітується присутністю у воді катіонів Ca^{2+} , які утворюють з сульфат-іонами малорастворимое з'єднання CaSO_4 .

Основними джерелами розчинених у воді сульфатів є різні осадові породи, до складу яких входить гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Джерелами сульфат-іонів в природній воді служать і процеси окислювання самородної сірки, що протікають по рівнянню $2\text{S} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2\text{SO}_4$, а також окислення широко поширених в земній корі сульфідних сполук. На утримання сульфат-іонів в природних водах впливають процеси розпаду і окислення органічних речовин рослинного і жи-Вотня походження, що містять сірку. Поблизу населених пунктів присутність сульфат-іонів у воді часто виявляється результатом загряз-вати її побутовими і промисловими стічними водами. Сульфат-іони характеризуються високою стійкістю. Однак за відсутності кисню вони можуть піддаватися відновленню, зазвичай під впливом сульфатредуючих бактерій. Ці мікроорганізми часто зустрічаються в морських водах і у водах нафтових родовищ, де сульфати перетворюються на сірководень.

Добутий в процесі відновлення сульфатів сірководень надалі при зіткненні з повітрям знову окислюється спочатку до сірки $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$, а потім до сульфатів. Підвищений вміст сульфатів у воді погіршує її органолептичні властивості. Сульфати можуть надавати воді проносні властивості, тому їх зміст строго регламентується. Високий вміст хлоридів і сульфатів у воді сприяє її агресивному впливу на бетон. Зокрема, сульфат-іони вступають у реакцію з вапном, що міститься в цементі, утворюючи гіпс. Це

спричиняє збільшення об'єму матеріалу й утворення тріщин у бетоні. Водночас значна концентрація хлоридів у воді призводить до вилугування компонентів бетону та його руйнування через утворення розчинних хлоридів кальцію та магнію.

Іони лужних металів, зокрема Na^+ і K^+ , широко поширені в природних водах. Іони натрію (Na^+) присутні у значно більших кількостях порівняно з іонами калію (K^+). Подібно до хлорид-іонів, Na^+ є характерним компонентом сильно мінералізованих вод. Основним джерелом натрію в природних водах є його поклади у вигляді хлористих солей, які трапляються серед осадових порід морського походження або континентальних утворень у посушливих регіонах. Іншим джерелом іонів лужних металів є продукти вивітрювання гірських порід. Калій переважно міститься у кислих магматичних породах, таких як ортоклаз і мусковіт, тоді як натрій входить до складу різних алюмосилікатів. Також у природних водах може відбуватися процес обмінної адсорбції між іонами Ca^{2+} і Na^+ у породах. Унаслідок цього в розчині з'являється еквівалентна кількість іонів натрію замість кальцію.

У сильно мінералізованих водах переважає катіон натрію (Na^+), тоді як у менш мінералізованих водах домінує катіон кальцію (Ca^{2+}), а значно рідше — магнію (Mg^{2+}). Основним джерелом кальцієвих іонів у природних водах є вапняки, які розчиняються під дією вугільної кислоти, що міститься у воді, утворюючи гідрокарбонати. Іншим важливим джерелом катіонів Ca^{2+} є гіпс, що часто зустрічається в осадових породах. Магнієві катіони (Mg^{2+}) потрапляють у воду переважно в результаті розчинення доломіту ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$), мергелів або вивітрювання материнських порід.

Присутність катіонів кальцію (Ca^{2+}) і магнію (Mg^{2+}) визначає жорсткість води, що є важливим показником її якості. Серед розчинених у воді газів найбільше значення мають кисень (O_2) і оксид вуглецю (IV) (CO_2 , вуглекислий газ). Також значну роль відіграють азот (N_2), сірководень (H_2S), метан (CH_4) та інші. Розчинність газів у воді залежить від їх природи, парціального тиску та температури. Розчинність газу для заданої температури описується законом

Генрі. Цей закон дозволяє прогнозувати поведінку газів у воді залежно від зовнішніх умов.

Концентрація газів у воді прагне досягти рівноваги з парціальним тиском цих газів у повітрі над поверхнею. Унаслідок цього постійно відбуваються взаємно зворотні процеси сорбції та десорбції.

Кисень (O_2) у природній воді присутній у формі розчинених молекул. Його наявність є критично важливою для життєдіяльності більшості водних організмів. Вода збагачується киснем через:

- розчинення атмосферного кисню,
- виділення кисню водною рослинністю під час фотосинтезу.

Дощові та снігові води зазвичай пересичені киснем, тому їх потрапляння у водойми покращує аерацію води. Зменшення концентрації розчиненого кисню у воді відбувається через:

- його вивільнення в атмосферу,
- споживання під час окислення органічних речовин, дихання організмів, бродіння, мінералізації органічних залишків.

Наявність розчиненого кисню також є однією з причин корозійної агресивності води щодо металів.

Концентрація кисню визначає величину окислювально-відновного потенціалу і в значній мірі напрямок і швидкість хімічних і біохімічних процесів окислення. Кисневі умови мають великий вплив на життя пласта. Вміст кисню у воді прийнято виражати в mg/dm^3 , а його вміст у природній воді коливається від 0 до 14 mg/dm^3 . вуглекислий газ. Вуглекислий газ існує переважно у воді у вигляді розчинених молекул вуглекислого газу. Але частина його (близько 1%) взаємодіє з водою, утворюючи вугільну кислоту $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$. Загалом CO_2 і H_2CO_3 не поділяються, вуглекислий газ являє собою їх суму.

Основним джерелом вуглекислого газу (CO_2) у природних водах є процеси окислення органічної речовини. Ці процеси відбуваються як безпосередньо у воді, так і в ґрунтах та мулах, з якими контактує вода. Джерелами CO_2 є також:

- дихання водних організмів,
- різні види бродіння органічних залишків, що розкладаються.

Крім цього, геохімічні процеси в осадових породах сприяють збагаченню води вуглекислим газом. Поглинання CO_2 із атмосфери зазвичай характерне для морських вод і дуже рідко зустрічається у водах суші.

Зменшення концентрації CO_2 у природних водах забезпечується через такі процеси:

- виділення надлишкового газу в атмосферу у разі перенасичення,
- витрачання CO_2 на розчинення карбонатних порід,
- споживання рослинами під час фотосинтезу.

Вміст вуглекислого газу в природних водах коливається в дуже широких межах: від декількох десятків часток до декількох сотень мг / дм^3 . Найменша його кількість спостерігається в морях, найбільше - в підземних водах.

Зазвичай навесні і влітку вміст діоксиду вуглецю у водоймі знижується, а в осінньо-зимовий період збільшується, досягаючи максимуму в кінці зими. Підвищені концентрації CO_2 пригнічують розвиток тваринних організмів. У річках і озерах через постійне виділення в атмосферу, а також значного споживання при фотосинтезі вміст CO_2 рідко перевищує 20-30 мг / дм^3 . При високих концентраціях вуглекислого газу води стають агресивними стосовно металів і бетону, тому що при цьому утворюються розчинні гідрокарбонати, що порушують структуру цих матеріалів. Присутність сірководню (H_2S) і метану (CH_4) у природних водах свідчить про гнильні процеси, які відбуваються в умовах обмеженого доступу повітря. Зазвичай ці гази трапляються в підземних водах через природні біохімічні процеси.

Однак у поверхневих водоймах, таких як річки та озера, наявність сірководню, особливо H_2S , може бути ознакою антропогенного впливу, зокрема скидання неочищених стічних вод, що сприяє розвитку анаеробних процесів.

Розчинені органічні сполуки. Ця категорія включає різноманітні органічні речовини, зокрема органічні кислоти, спирти, альдегіди, кетони, складні ефіри, білки, вуглеводи, аміни, вільні амінокислоти та інші. Залежно від джерела,

розчинені органічні речовини можна поділити на автохтонні — продукти метаболізму та біохімічного розкладу решток живих організмів, і алохтонні, які потрапляють у водне середовище через поверхневі стоки з водозбірної території, зливові й талові води, атмосферні опади та стічні води. При розкладанні відмерлих рослин і їх гуміфікації утворюється складна суміш високомолекулярних органічних сполук - гумусові речовини, перш за все гумінові кислоти та фульвокислоти. Поверхневий стік з заболоченої площі водозбору приносить в природну воду велику кількість цих речовин.

До постійних джерел органічних речовин можна також віднести побутові та промислові стічні води, що потрапляють у підземні води та річки. Їх склад є надзвичайно різноманітним і включає поверхнево-активні речовини (ПАР), феноли, нафтопродукти та інші сполуки. Оскільки визначення окремих органічних речовин є складним через їхню різноманітність і низькі природні концентрації, для їх кількісної оцінки використовуються непрямі показники, такі як загальний вміст органічного вуглецю (Сорг), органічного азоту (Nорг) та органічного фосфору (Рорг), перманганатна або Дихроматні окислюваність води (ГПК), біохімічне споживання кисню (БПК). Мікроелементи. У природних водах встановлено наявність більше 70 хімічних елементів. Речовин, абсолютно не розчинних у воді, немає і кожен елемент, що зустрічається в земній корі, міститься і в природних водах. До мікроелементів, по А.П. Виноградову, відносяться ті елементи, зміст яких у воді менше 10-3%. До групи мікроелементів входять всі метали, крім головних іонів і заліза, а також деякі аніони.

Важкі метали (мідь, кобальт, нікель, марганець, цинк і ін.) Знаходяться в природних водах в невеликих кількостях, що пояснюється невеликим вмістом їх в ґрунтах і ґрунтах. Середній вміст іонів броміду в прісних водах коливається в межах 0,001 - 0,2 мг / дм³. Вміст іонів йоду значно менше - до 0,003 мг / дм³, в морських водах воно підвищується до 0,05 мг / дм³. Вміст фтору у воді озер, річок і артезіанських свердловин коливається в межах 0,04 - 0,3 мг / дм³. Вміст бору в прісних водах приблизно 0,01 мг / дм³, в морських водах - 1,5 - 4,4 мг / дм³. Біогенні сполуки. До біогенних належать речовини, які так чи інакше

пов'язані зі своєю появою з життєдіяльністю водних організмів. Наявність цих сполук у воді, в свою чергу, впливає на здатність водних організмів існувати в даному середовищі.

Азотисті сполуки. В природних водах серед неорганічних азотистих сполук можна зустріти катіони амонію (NH_4^+), аніони нітриту (NO_2^-) і нітрату (NO_3^-). Оскільки ці сполуки мають схожий генезис та здатні перетворюватися одна в одну, їх можна об'єднати в одну групу. Основним джерелом появи NH_4^+ , а також NO_3^- і NO_2^- в природних водах є різні органічні сполуки тваринного та рослинного походження, які містять білки. Деякі мікроорганізми, за допомогою протеолітичних ферментів, можуть розщеплювати молекули білка на пептидні ланцюги та окремі амінокислоти. Крім того, катіони амонію можуть з'являтися й іншими шляхами, зокрема з неорганічних сполук. Спостерігається наявність NH_4^+ у болотистих водах, які містять велику кількість гумусних речовин. Це може свідчити про здатність гумусних сполук відновлювати нітрати до амонію (NH_4^+).

Нітрати та нітрити можуть бути відновлені до NH_4^+ також за допомогою інших сполук, таких як сірководень та залізо (II). Крім того, NH_4^+ часто потрапляє у водойми через промислові стічні води, наприклад, від азотнотукових, содових, коксогазових та інших заводів. Наявність аміаку у воді завжди свідчить про можливе забруднення стічними водами. В природних водах аміак є нестійким і під впливом нітрифікуючих бактерій окислюється спочатку до азотистої кислоти, а потім до азотної кислоти в процесі нітрифікації: $2 \text{NH}_3 + \text{O}_2 = 2 \text{HNO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (NH_4) $2\text{CO}_3 + 3 \text{O}_2 = 2 \text{HNO}_2 + \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$ $2 \text{HNO}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{HNO}_3$.

Іншим найважливішим джерелом безпосереднього збагачення природних вод нітратами є отримувані при атмосферних електричних розрядах оксиди азоту, які після поглинання атмосферними водами потрапляють на земну поверхню. Нітратні іони зустрічаються в поверхневих природних водах в кількостях кілька великих, ніж нітритні. У той же час в підземних водах вміст нітритів звичайно значно вище, особливо у верхніх водоносних горизонтах. При

дослідженні поверхневих вод за співвідношенням змісту в них аміаку, нітритів і нітратів можна судити про час забруднення води.

Присутність аміаку у воді та відсутність нітритів може свідчити про нещодавнє забруднення. Якщо ж аміак відсутній, а нітрити й нітрати присутні, це вказує на те, що забруднення відбулося давно, і процес самоочищення води вже відбувся. З'єднання фосфору. Мінеральний фосфор в природних водах в розчиненому стані знаходиться головним чином у вигляді гідрофосфатіона HPO_4^{2-} , в меншій мірі дігідрофосфат-іона H_2PO_4^- , ще менше фосфат-іона PO_4^{3-} . Зміст тих чи інших іонів ортофосфорної кислоти визначається реакцією середовища.

Органічний розчинений фосфор є частиною складних органічних сполук. Він може бути присутнім у природних водах як у зважених частинках мінерального та органічного походження. Хоча фосфор у водах зустрічається в малих кількостях, його роль у розвитку рослинного життя є надзвичайно важливою, оскільки він часто виступає як обмежуючий фактор для росту рослин та визначає продуктивність екосистеми. Збільшення концентрації фосфору в прісних водах зазвичай призводить до евтрофікації водойм.

1.3 Нормування якості води для різних типів водокористування

Природна і особливо стічна води завжди містять певну кількість розчинених і зважених речовин органічного і мінерального походження. Якість води загалом стосується характеристик її складу та властивостей, які визначають її придатність для певного виду водокористування, тоді як стандарти якості є маркерами для оцінки якості води. Якість води визначається загальною кількістю розчинених мінеральних і органічних речовин, газів, колоїдів, завислих речовин, мікроорганізмів. Водокористування – це використання води без її вилучення з її природного місця. Водоспоживання — це процес використання води, який передбачає її вилучення з природних джерел з повним безповоротним витрачанням або з поверненням у джерела водозабору у

зміненому (забрудненому) вигляді. Водовідведення — це процес видалення стічних вод за межі населеного пункту або промислового об'єкта.

Водний кодекс України розрізняє більше десяти видів водокористування. У кожному конкретному випадку пред'являються певні вимоги до якості води. До господарсько-питного водокористування належить використання водних об'єктів або їх ділянок в якості джерел питної води і води для підприємств харчової промисловості. Вимоги к якості води для питного та господарсько-побутового водопостачання пропонуються державними і міжнародними стандартами. У нашій країні в даний час якість питної води регламентується СанПіН 2.1.4.1074-01 «Питна вода. Гігієнічні вимоги до якості води централізованих систем питного водопостачання. Контроль якості».

Відповідно до цих правил питна вода повинна бути хімічно нешкідливою, безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мати добрі органолептичні властивості. До культурно-побутового (рекреаційного) водокористування відноситься використання води людьми для купання, спорту та відпочинку. Гігієнічні вимоги до якості води водних об'єктів в пунктах питного, господарсько-побутового та рекреаційного водокористування встановлюють санітарно-епідеміологічні правила і нормативи СанПіН 2.1.5.980-00 «Гігієнічні вимоги до охорони поверхневих вод». Вимоги до якості води, встановлені для культурно-побутового водокористування, поширюються на всі ділянки водних об'єктів, що знаходяться в межах населених місць, незалежно від виду їх використання.

Рибогосподарські водойми поділяються на три основні категорії: до вищої категорії відносяться нерестовища особливо цінних риб та інших промислових гідробіонтів, місця випасу та зимівлі, а також охоронні території для будь-яких видів рибоводних господарств, інші водні тварини і рослини, до першої категорії належать водойми, які використовуються для збереження та розмноження цінних видів риб, які є високочутливими до вмісту кисню; до другої категорії відносять водні об'єкти, що використовуються для інших рибогосподарських цілей.

Якість води в таких об'єктах визначається згідно з нормативами, наведеними в «Переліку рибогосподарських нормативів», який включає гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ) шкідливих речовин для води водних об'єктів, що мають значення для рибного господарства. Природні води також служать джерелом водопостачання для інших галузей, таких як промисловість, зрошення, судноплавство, гідроенергетика тощо. Наприклад, у сільському господарстві встановлюються стандарти якості води для поливу культур і напування тварин.

Якість води, використовуваної для промислового водопостачання, визначається видом виробництва і роллю води в технологічному процесі. Вода використовується як технологічна сировина, розчинник, теплоносій і т.д. Суворі вимоги по якості пред'являються до води, використовуваної для живлення парових котлів, в деяких галузях хімічної та радіоелектронної промисловості, при виробництві ліків і в ряді інших виробництв.

Для оцінки якості води використовують чотири групи показників: органолептичні (запах, смак, кольоровість, каламутність, пенистість, наявність плівок); гідрохімічні: рН, вміст кисню, мінералізація (сухий залишок, карбонати, гідрокарбонати, сульфати, хлориди, фториди, загальна жорсткість, катіони кальцію, магнію, калію, натрію), біогенні елементи (амоній, нітрити, нітрати, фосфати, залізо). вміст хімічних токсикантів; Мікробіологічні показники. Для оцінки хімічного складу води використовуються гранично-допустимі концентрації (ГДК).

Гранично допустима концентрація (ГДК) у воді для об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування — це максимальна концентрація шкідливої речовини, яка не повинна впливати на здоров'я людини протягом його життя та на наступні покоління, а також не повинна погіршувати умови використання води. Гранично допустима концентрація для водних об'єктів, що використовуються для рибогосподарських цілей (ГДК р.х.), визначає максимально допустиму концентрацію шкідливої речовини, яка не завдає шкоди рибним популяціям, зокрема промисловим видам.

Це максимальні концентрації, при яких не спостерігаються випадки загибелі риб або організмів, які є їх кормом, а також не відбувається зникнення видів риб, раніше здатних існувати в водоймі, і не погіршуються товарні якості риби.

Нормування хімічних речовин у воді базується на оцінці їх шкідливого впливу за кількома критеріями. Для водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування визначають такі ознаки шкідливості: органолептичну (вплив на зміну властивостей води, що сприймаються органами почуттів), загальносанітарну (вплив на процеси самоочищення водойм) та санітарно-токсикологічну (вплив на організм людини і лабораторних тварин). Для рибогосподарських вод обов'язково враховують також токсикологічний критерій (токсичність для водних організмів) та рибогосподарський.

Визначення ГДК для водойм базується на лімітуючому показнику шкідливості (ЛПВ), який визначає найбільший негативний вплив речовини на екосистему водного об'єкта. Для кожної речовини проводяться дослідження по всіх зазначених показниках шкідливості, і на основі порогових концентрацій вибирається мінімальна величина як ГДК. Для водних об'єктів господарсько-питного і культурно-побутового водокористування встановлено ГДК для 1717 шкідливих речовин, а для рибогосподарських цілей — для 1109 речовин. У деяких випадках, ГДК для водокористування більш строгі, ніж для рибогосподарських вод.

Оцінка якості води проводиться за найжорсткішою ГДК. Склад і властивості води повинні відповідати нормативам у створі на відстані 1 км вище пункту водокористування на водотоках, або в радіусі 1 км на непроточних водоймах. Забруднювальні речовини поділяються на 4 класи небезпеки в залежності від їх токсичності, зокрема клас 1 — найбільш небезпечні, а також виділяється клас 4Е, який включає речовини, що змінюють екологічні умови водойми (наприклад, евтрофікація). Для кожного джерела забруднення встановлюється гранично допустимий скид.

Гранично-допустимий скид (ПДС) - це маса речовини в стічних водах, максимально допустима до відведення в установленому режимі в даному пункті

водного об'єкта в одиницю часу з метою забезпечення норм якості води в контрольному пункті (ГДК з урахуванням виду водокористування). При визначенні ПДС враховують ефект розбавлення, внесок інших джерел забруднення і т.д. Фактично при відомих масштабах скидання стічних вод ПДС дозволяє розрахувати допустиму концентрацію кожного забруднюючої речовини в стічних водах. При перевищенні цих концентрацій їх необхідно знизити до допустимих меж шляхом відповідної очистки стічних вод.

1.4 Задачі дослідження

У результаті дослідження фізико-хімічних і біологічних властивостей питної води було визначено низку ключових аспектів, що впливають на її якість та безпечність для споживання.

Було виявлено, що якість питної води залежить від рівня концентрації основних елементів (натрію, калію, кальцію, магнію) та домішок (солей важких металів, нітратів, фторидів тощо). Надмірний вміст деяких елементів може негативно вплинути на здоров'я людини, тоді як дефіцит — погіршувати її органолептичні властивості.

Прозорість, колір, запах і смак є важливими характеристиками, що впливають на сприйняття води споживачами. Встановлено, що фізичні параметри можуть змінюватися залежно від природних умов та технологій обробки води.

Дослідження підтвердило, що мікробіологічна чистота питної води є критичним аспектом для запобігання поширенню інфекційних захворювань. Особлива увага була приділена аналізу вмісту бактерій групи кишкової палички та інших патогенних мікроорганізмів.

Таким чином, дослідження у першому розділі підтвердило важливість комплексного підходу до оцінки якості питної води, враховуючи її фізико-хімічні, біологічні властивості та джерела забруднення. Ці результати можуть

бути використані для розробки рекомендацій з оптимізації систем водопідготовки та контролю якості.

2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

2.1 Аналіз методів контролю якості питної води

Контроль якості води відіграє величезну роль у забезпеченні безпеки людини (населення країни). Для того, щоб мати можливість регулювати та контролювати якість питних водних ресурсів, фахівці використовують лабораторні методи аналізу води для перевірки фізико-хімічних властивостей об'єктів дослідження. Вони надзвичайно важливі, оскільки запобігають забрудненню навколишнього середовища та усувають екологічні проблеми. Але головна їхня місія — запобігти безлічі захворювань серед людей, які щодня контактують із неякісною водою та споживають її.

Процедура контролю і процесу підготовки води в жилих будинках, на виробничих і промислових підприємствах починається з виявлення і підрахунку кількості компонентів і сполучень що міститься у воді яку споживають. Сучасна методика аналізу води дозволяє з високою точністю ідентифікувати речовини в складі зразків і його об'єму на одиницю мас. Всі тести проводяться в лабораторних умовах за допомогою спеціального обладнання, хімічних реагентів і препаратів.

Існують наступні типи досліджень стічних і питних вод:

Хімічний метод визначає в складі води наявність важких металів, органічних і неорганічних домішок, нафтопродуктів та інших речовин, які можуть мати негативний вплив на здоров'я людини.

Оптичний метод досліджує зразок за допомогою фотометричних, люмінесцентних та спектрометричних технік для виявлення різних компонентів у воді.. Вважається найрезультативнішим, але за рахунок необхідності використовувати дуже рідкісне і складне устаткування є найменш вживаним, дорогим. Використовується для компонентного тестування як питних, стічних, так і господарсько-побутових, промислових вод.

Фізико-хімічне дослідження води включає аналіз кількох показників, таких як жорсткість, мінералізація, лужність та окислюваність. Ці параметри допомагають оцінити загальний стан води та її здатність підтримувати різні екологічні процеси.

Мікробіологічні та паразитологічні дослідження води дозволяють виявити наявність різних бактерій та паразитів, серед яких можуть бути й хвороботворні організми. Цей метод допомагає оцінити санітарний стан води та її потенційну небезпеку для здоров'я людини. Зазвичай підраховується кількість мікроорганізмів на 1 мл. води.

Органолептичний – еталонний метод дослідження проб. Застосовується виключно для питних видів зразків. Це метод, що оцінює якості, доступні органам почуттів людини. Органолептичне дослідження включає в себе оцінку кольоровості, запаху, прозорості води і її смаку[9].

Критерії методів аналізу якості питної води.

Для оцінки якості та порівняння різних методів і засобів вимірювання важливим є правильний вибір критеріїв їх ефективності, що залежить від призначення засобу вимірювання та вимог, які до нього ставляться. Оцінка ефективності враховує такі аспекти, як точність, яка визначає близькість отриманого результату до реального значення, чутливість, що характеризує здатність засобу фіксувати мінімальні зміни величини, а також стабільність, яка відповідає за сталість результатів вимірювань з часом. Крім того, важливими є швидкість проведення вимірювання, економічна ефективність, зручність використання та здатність забезпечувати однакові результати в різних лабораторних умовах. Ці фактори допомагають вибрати найбільш відповідний метод або засіб вимірювання в залежності від конкретних умов і завдань. [10, 11].

Критерій повинен:

- відображати головне призначення засобу контролю;
- бути критичним по відношенню до параметрів, які дозволяють його змінювати;

- володіти конструктивністю, яка дозволяє відносно просто визначити його чисельне значення;

- бути достатньо універсальним, дозволяти порівнювати ефективність систем одного призначення і обрати кращий варіант.

У теорії вимірювальних інформаційно-керуючих систем використовуються різні характеристики точності, швидкості, надійності, вартості. Будь-який із них може виступати окремим показником якості інструменту моніторингу. Той чи інший з окремих показників характеризує засіб управління і не дає достатньо повного уявлення про його ефективність з усіх боків. Цей факт зумовлює необхідність застосування узагальнених критеріїв ефективності. Найбільш простим і зручним для аналізу та вибору основного методу контролю при розробці засобів вимірювання є узагальнений якісний критерій ефективності (УЯКЕ).

УЯКЕ – це показник ефективності, який визначається для мети (ефекту), поставленої перед засобом контролю. Цей критерій можна визначити як такий, що приймає лише два значення - «1» у разі досягнення мети та «0» в іншому випадку. Далі комплексний якісний критерій ефективності являв собою суму часткових якісних критеріїв ефективності, які визначаються для засобів контролю відповідно до часткових цілей

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}, \quad (2.1)$$

де a_i – вагові коефіцієнти; n – загальна кількість якісних критеріїв ефективності.

Визначимо узагальнений якісний критерій ефективності для кожного методу аналізу якості питної води

Хімічний метод:

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n} = \frac{5}{5} = 0,8 ;$$

Оптичний метод:
$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n} = \frac{3}{5} = 0,6 ;$$

Фізико – хімічний метод:
$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n} = \frac{4}{5} = 1 ;$$

Мікробіологічні та паразитологічні методи

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n} = \frac{3}{5} = 0,6 ;$$

Органолептичний метод:
$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n} = \frac{2}{5} = 0,4 .$$

Для досягнення будь-якої мети засіб контролю має максимально реалізовувати свій потенціал у межах обраного методу контролю. Це забезпечує можливість порівняльного аналізу засобів вимірювання на рівні використаних методів. При цьому відпадає потреба у встановленні зв'язку між УЯКЕ та параметрами засобу вимірювання, конкретні значення або діапазон яких визначали б числове значення УЯКЕ.

Таблиця 2.1 - Порівняння методів для аналізу якості питної води

Метод/ Параметр	Діапазон вимірюва- -нь	Швидкодія	Надійніс- -ть	Багатокомпо- -нентність	Вибірко- -вість	УЯКЕ
Хімічний	1	1	0	1	1	0,8
Оптичний	1	1	0	1	0	0 0,6
Фізико- хімічний	1	1	1	1	1	0 1
Мікробіо- логічні	1	1	0	1	0	0 0,6
Органоле- птичний	0	1	0	1	0	0 0,4

Провівши дослідження можна зробити висновок, що порівняльний аналіз розглянутих вище методів для дослідження якості питної води показує, що найбільш надійним та перспективним є фізико-хімічний метод, тому, що цей вид дослідження покликаний визначити наявність в питній воді різних домішок які визначаються за кількома показниками: жорсткість, мінералізація, лужність, окислюваність. Семе за допомогою цього методу, через його доступність у використанні дослідження можна провести не тільки у лабораторіях, а і самостійно.

2.2 Огляд сучасних засобів для проведення лабораторного аналізу якості води

Існує різноманітне обладнання для аналізу води, від портативних приладів для побутового використання до високоточних лабораторних пристроїв, які здатні проводити дослідження як побутової, так і промислової води. Аналіз якості будь-яких вод можна проводити не тільки за бажанням споживачів і у виробничих цілях, але і на різних етапах її очищення. Так, комплексна очистка водного середовища виконується за 5 кроків:

1. Механічне видалення твердих частинок і великих забруднювачів. Процедура виконується в декілька етапів. Спочатку вода проходить очищення на осадових фільтруючих пристроях. Потім відбувається очищення за допомогою активованого вугілля. На останньому етапі рідина очищається в процесі мікрофільтрації.

2. Після цього вода проходить спеціальну обробку для зменшення вмісту в ній розчиненого заліза.

3. Використання певних реагентів дозволяє пом'якшити воду, тобто зменшити концентрацію мінеральних солей в ній.

4. Після цього виконується тонка очистка.

5. Для дезінфекції рідина піддається ультрафіолетовому опроміненню.

Якщо потрібно провести комплексний аналіз води, то взяття проб відбувається на кожному етапі. А для проведення вимірювань використовується різне обладнання. Перш за все, дивляться на наявність в пробах певного виду бактерій, що викликають серйозні забруднення рідини. Також оцінюються кількість, характер і особливості знайдених мікроорганізмів.

Устаткування для аналізу води дозволяє не тільки оцінити ступінь забруднення, а й визначити його характер і властивості. Все це дає можливість найбільш правильно і точно підібрати методику очищення води [12].

Розглянемо декілька засобів для визначення якості води:

1. рН-метр лабораторний AZ-86505 — це multifunkціональний лабораторний аналізатор, призначений для визначення параметрів розчинів і перевірки якості води. Він дозволяє вимірювати водневий показник (рН), окисно-відновний потенціал (ОВП), електропровідність, загальну мінералізацію, солоність і температуру. Прилад одночасно виводить на екран значення двох вимірюваних параметрів, таких як рН (або електропровідність, загальна мінералізація чи солоність) і температура, в реальному часі. Прилад вироблений корпорацією «HoriBa» в Японії за найвищими світовими стандартами.

2. ОВП-метр AZ-8552 — портативний прилад з професійними можливостями для вимірювання окисно-відновного потенціалу (ОВП). Це

ідеальний вибір для контролю очищення стічних вод, процесів дезінфекції води та виконання лабораторних досліджень. Він забезпечує точні результати та зручність у використанні, що робить його незамінним інструментом у різних галузях водного аналізу.

Особливості:

- Водонепроникний корпус стандарту IP65.
- Великий рідкокристалічний дисплей, на якому відображається значення ОВП у мВ.
- Автоматичне вимкнення через 20 хвилин, якщо прилад не використовується.
- Режим мінімального споживання енергії (сплячий режим) з можливістю його відключення.
- Функція утримання поточного значення вимірювання.
- Індикація низького заряду батареї.
- Спеціальний захисний ковпачок для зберігання електрода вологим, що суттєво продовжує термін його служби.
- Живлення від чотирьох елементів LR44.

3. Солемір EZODO 6032 — це компактний однопараметричний прилад для вимірювання загальної концентрації розчинених солей та рівня мінералізації води. Прилад виготовлений у водозахищеному корпусі, що дозволяє йому залишатися на плаву у воді, що робить його зручним для використання в різних умовах, зокрема для вимірювань безпосередньо в водоймах чи інших водних середовищах.

Особливості:

- Швидкий відгук, точні і надійні вимірювання.
- Водозахищений корпус стандарту IP 57.
- Автоматична компенсація температури (АКТ).
- Змінні електроди.

4. рН-метр з АТК Ezodo 5011A. Портативний ручний рН-метр з автоматичною температурною компенсацією призначений для визначення

ступеня активності іонів водню в рідині, тобто для вимірювання рівня кислотності розчину. Це прилад початкового рівня, який поставляється в повній комплектації для повноцінної роботи. Він підходить для всіх типів водних розчинів, що робить його універсальним інструментом для вимірювання рН у різних середовищах. Особливості:

- Швидке отримання результатів вимірювання в поєднанні з високою точністю.
- Легкий, надійний, компактний.
- Електрод може бути збільшено до 80 мм.

Таблиця 2.2 - Технічна характеристик алабораторних засобів аналізу якості води

Засіб	Діапазон вимірювання	Точність	Роздільна здатність	Точки калібрування	Ціна
рНметр/ Кондуктометр /Термометр/О ВП-метр	0,00~14,00	$\pm 0,02$	0,01мВ	до 5	12,600.00 (грн.)
ОВП-метр AZ-8552	від -999 до +999 мВ	± 4 мВ	1 мВ	2	2,100.00 (грн.)
Солемір водозахищени й EZODO 6032	0...1999 ppm	± 1 від вимірюваног о значення	1 ppm	2	1,240.00 (грн.)
рН-метр з АТК Ezodo 5011A	0-14,0	$\pm 0,01+1$ цифра	0,01	до 4-х	840.00 (грн.)

Виходячи з технічних характеристик засобів, можна побачити, що надійним, точним та багатофункціональним засобом є рН-метр/Кондуктометр/Термометр/ОВП-метр лабораторний AZ-86505, який

широко використовується для контролю якості води. В цього приладу найбільша ціна, але він визначає багато різних параме

трів, такі як:

- Водневий показник (pH).
- Окисно-відновний потенціал (ORP).
- Провідність (Cond).
- Загальна мінералізація (TDS).
- Солоність (Salt).
- Температура.

Особливості лабораторного аналізатора AZ-86505:

- На великий зручний екран одночасно виводиться значення двох вимірюваних параметрів: pH (або провідність, або загальна мінералізація, або солоність) і температура в реальному масштабі часу.
- Автоматична чи ручна температурна компенсація.
- Автоматичний або ручний вибір діапазону вимірювання для аналізу для провідності, TDS і солоності.
- Максимальна кількість точок калібрування - за 5 точками (pH, провідність, TDS).
- Функції утримання даних, максимального і мінімального значення.
- Калібрування та інформація про підключений електрод.
- Вихід на комп'ютер для завантаження даних [13].

2.3 Висновки до розділу

У процесі аналізу сучасних методів контролю якості питної води були детально розглянуті фізичні, хімічні, біологічні та комбіновані підходи. Кожен з цих методів має свої характерні особливості, переваги і недоліки, що залежить від конкретних умов застосування та характеристик води, яка підлягає перевірці. Фізичні методи, до яких відносяться, зокрема, електромагнітна обробка, продемонстрували свою високу ефективність у виявленні різноманітних

домішок і мікроорганізмів у воді. Однією з головних переваг таких методів є їх екологічна безпечність, адже вони не потребують використання хімічних реагентів, що значно зменшує ризик вторинного забруднення води.

Також фізичні методи мають значну перевагу в оперативності контролю якості води, що особливо важливо у випадках аварійних ситуацій або в умовах, коли необхідно здійснювати мобільне тестування води на різних об'єктах або територіях. Вони забезпечують швидкий результат без затримок, що є критично важливим для оперативного реагування на зміни у водному середовищі.

Порівняно з хімічними методами, які можуть вимагати складних процедур і часу на підготовку, фізичні методи виглядають набагато простішими і ефективнішими, особливо коли йдеться про постійний моніторинг або ситуації, що потребують миттєвих результатів. Завдяки цьому, фізичні методи є економічно вигідними, оскільки не потребують дорогих хімічних реагентів і складних лабораторних установок.

Зважаючи на всі переваги, на основі проведеного аналізу, фізичний метод було визначено як найбільш оптимальний для контролю якості питної води. Його екологічна безпечність, висока ефективність і економічність роблять його чудовим вибором для застосування в системах водопідготовки, а також для розробки стандартів і регламентів контролю якості води на різних етапах обробки. Тому рекомендується активно впроваджувати фізичні методи в сучасні системи водопідготовки та для встановлення регулярного моніторингу якості води на всіх етапах її використання.

З РОЗРОБКА КОНДУКТОМЕТРИЧНОГО СЕНСОРА ТА ЙОГО МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШОК У ВОДІ

3.1 Загальні поняття електропровідності

Область і методи вимірювання питомої електричної провідності розчинів об'єднуються загальним терміном - кондуктометрія (електропровідність). Визначення питомої електричної провідності (ПЕП) впливає з основних рівнянь електродинаміки, згідно яким ПЕП - це коефіцієнт пропорційності між щільністю струму і вектором напруженості електричного поля

$$\vec{i} = \chi \cdot E = \chi \cdot \text{grad}\varphi \quad (3.1),$$

де $\vec{i}$ - щільність струму (електричний струм, що проходить через одиницю площі поперечного перерізу), А / м²;

χ - питома електрична провідність, См / м;

φ - внутрішній електричний потенціал в провідному середовищі, В;

E - напруженість електричного поля в провідному середовищі, В / м.

З рівняння 3.1 слід визначити одиниці ПЕП (χ): одиниця ПЕП чисельно дорівнює струму (в амперах), що проходить через шар електроліту з постійним поперечним перерізом, рівним одиниці, під дією градієнта електричного поля в 1 В на одиницю довжини 1 м. Розмірність ПЕП має вигляд [χ] і називається «сіменс на метр».

З іншого боку, ПЕП, як фізична величина, яка не володіє властивостями аддитивності, не може бути виміряна безпосередньо, тому вимірюють функціонально пов'язаний з ПЕП опір (R) однорідного провідника, який прямо пропорційний довжині провідника (l) і обернено пропорційно площі (S) його поперечного перерізу .

$$\chi = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{S} = A \cdot \frac{1}{R} \quad (3.2),$$

де A - кондуктивна постійна комірки, м^{-1} ;

З рівняння випливає, що точність вимірювання ПЕП залежить від точності визначення опору і кондуктивної постійної.

3.2 Теоретичне дослідження та аналіз електрохімічних процесів в кондуктометричній комірці

Кондуктометричну комірку можна уявити, як коаксіальну ємність, по обидва боки якої розташовані пластинчасті електроди, що забезпечують рівномірний перебіг електричного струму. Через заливні горловини осередок заповнюється водою (розчином), яку необхідно дослідити. Проходження через комірку електричного струму породжує ланцюжок електричних і термодинамічних процесів, що протікають не тільки всередині комірки, а й в навколишньому просторі. Поки на електроди не подається струм, іони в розчині беруть участь тільки в тепловому русі, при включенні струму в комірці створюється поле напруженості E , яке повідомляє іонам напрямок руху до електродів і накладається на тепловий рух.

На рисунку 3.1 представлена схема розподілу силових ліній електричного поля між двома електродами, з якої видно, що струм проходить не тільки по найкоротшому шляху від одного електрода до іншого. Отже, опір електроліту в даній комірці більше питомого опору. Це є основною причиною, чому чисто геометричний метод визначення константи комірки відповідає фізичному змісту виразу (3.2) не в повній мірі.

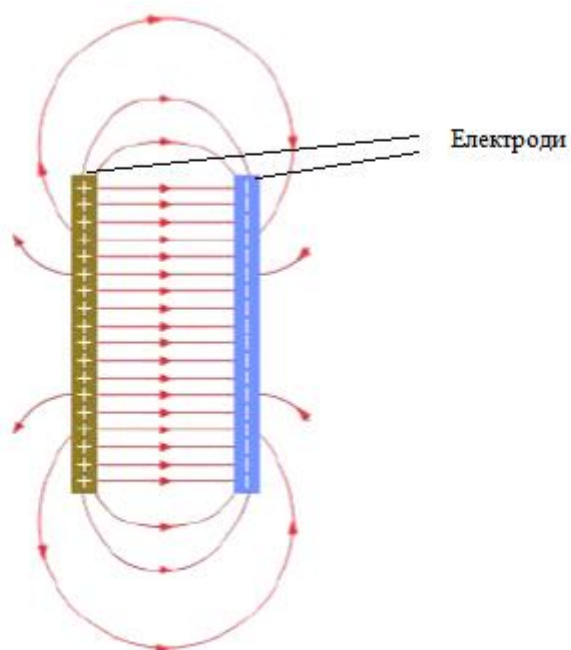


Рисунок 3.1 – Схема розподілу силових ліній між електродами

Іон в розчині оточений іонною атмосферою, в якій переважає заряд протилежний за знаком центральному іону. При русі іон «залишає» свою іонну атмосферу, зміщення іона від центру починає формувати нову атмосферу, а стара атмосфера починає розсіюватися. Цей процес відбувається не миттєво, існує час так званої релаксації. Таким чином, рух іона нерозривно пов'язаний з «відстаючим» утворенням нової іонної атмосфери і «відстаючим» розсіюванням старої деформованої атмосфери, в якій переважають іони протилежного знаку; через це ефект спостерігається гальмуючий ефект або ефект релаксації.

У своєму русі до електроду іон проходить через рухому йому, назустріч, іонну атмосферу протилежного заряду, яка несе молекули розчинника, що створює додаткове гальмування (електрофоричний ефект), який за своєю природою схожий зі збільшенням в'язкості середовища.

Зростання частоти змінного струму знижує шлях, що проходить іон за час напівперіоду так, що іон майже не перестає зміщатися від центру, зберігаючи симетрію іонної атмосфери. Це знижує ефект релаксації і підвищує значення ПЕП розчину. ПЕП зростає і в тому випадку, якщо в розчині створюється висока напруженість поля, через що швидкість руху іонів стає дуже великою. В таких

умовах іон рухається настільки швидко, що на його шляху не встигає створитися іонна атмосфера, релаксаційні гальмування мінімізується, таким чином, іони відчувають тільки гальмування, викликане самим розчинником. Відсутність іонної атмосфери зменшує і електрофоричний ефект, а рух іона стає аналогічним руху в нескінченно розбавленому розчині, коли електростатична взаємодія між іонами практично відсутня.

При зануренні електроду в розчин рівність концентрацій катіонів та аніонів порушується, оскільки електрод або посиляє свої катіони в розчин, або притягує з розчину іони певного знака. Електрод з платини викликає процес, в ході якого катіони металів з розчину осідають на поверхні електрода, передаючи йому позитивний заряд, а в певній області розчину залишається надмірна концентрація аніонів. Цей процес припиняється, коли встановлюється рівноважний стрибок потенціалу, що перешкоджає подальшому зростанню зарядів. Такому стану відповідає подвійний електричний шар (ПЕП), який в найпростішому випадку складається з іонів, розташованих в один ряд. Вплив електричного поля протидіє тепловому рух молекул розчинника і іонів, а також взаємним відштовхуванням однойменних іонів. В результаті подвійного впливу електричних шар набуває розмитий (дифузний) характер. При цьому зміна концентрацій катіонів та аніонів носить плавний характер, наближаючись до рівноважного значення.

У концентрованих розчинах ПЕП стиснутий практично до щільної частини, враховуючи аналогію між ПЕП і плоским електричним конденсатором, можна записати, що заряд ПЕП q пов'язаний з потенціалом і ємністю рівнянням

$$q = C \cdot (\varphi_a - \psi_1) = \frac{\varepsilon \cdot (\varphi - \psi_1)}{\pi} \quad (3.3)$$

де φ_a – абсолютний стрибок потенціалу між електродом і розчином

ψ_1 – стрибок потенціалу в дифузійної частини ПЕП

ε – діелектрична проникність середовища між обкладками

d – відстань між обкладками

Важливою відмінністю ПЕП від електростатичного конденсатора полягає в тому, що в багатьох випадках ПЕП є конденсатором з витоком, що виникає за рахунок електродних процесів.

Пропускання електричного струму через електроди викликає зміну в будові ПЕП, а значить необхідно, щоб порівняно велика зміна в будові ПЕП викликала малі струми, в іншому випадку, на електродах будуть спостерігатися процеси окислення/відновлення. Якщо ж електричні заряди, що передається електроду від зовнішнього ЕРС, зовсім не витрачаються на перебіг електродних реакцій, що залишаючись на електроді, вони будуть змінювати тільки його потенціал, тим самим змінюючи і будову ПЕП. У такому випадку, навіть найменші струми будуть викликати великий зсув потенціалу.

Такі електроди, на яких в спеціальних підібраних розчинах і в певній галузі потенціалу електрохімічні реакції практично відсутні, а струм цілком йде на зміну будова ПЕП, називають ідеально поляризовані. Потенціал таких електродів пропорційний кількості пропущеної електрики. До таких електродів відносяться електроди з благородних металів, які майже не посилають свої іони в розчин, отже, відсутність солей унеможливорює протікання реакції осадження іонів з розчину, а значить процеси $Me \rightleftharpoons Me^{**} + 2e$ не протікають і не споживають заряди. В реальності всі електроди в тій чи іншій мірі поляризовані і при проходженні струму змінюється як будова ПЕП, так і електродний потенціал. Мірою поляризації служить швидкість обміну потенціалу іонами при рівноважному потенціалі, коли між електродом і розчином встановлюється динамічна рівновага, що характеризується щільністю струму обміну. Якщо щільність струму велика, то при пропущенні навіть невеликого струму, що змінює потенціал від рівноважного значення на величину $\Delta\phi$, процеси, що ведуть до відновлення порушеної рівноваги, йдуть так швидко, що система моментально повертається в рівноважний стан, а потенціал такого електрода залишається незмінним. Навпаки, при малій щільності струму обмін потенціалу електрода вкрай нестійкий, а електродні реакції йдуть з низькою швидкістю. Таким чином,

електроди що не поляризуються характеризуються високим значенням щільності струму обміну, а ідеально поляризованість низьким, тому вони відрізняються високою корозійною стійкістю в різних розчинах.

Фізичний сенс процесів, що протікають на електроді при проходженні змінного струму можна представити таким чином: частина струму витрачається на перезарядку конденсатора, а інша частина (фарадєєвський струм), еквівалентна витоку конденсатора, на електрохімічні процеси, в результаті якого створюється додатковий поляризаційний опір R_s і поляризаційна ємність C_s .

Таким чином, систему електрод - розчин, коли через неї протікає змінний струм i , можна розглядати як що складається з частини опору досліджуваного електроліту і двох паралельних гілок .

Перша гілка містить ємність подвійного шару C , де i_c - струм перезарядки конденсатора. Друга гілка, в якій протікає струм Фарадея i_F , складається з опору електрохімічної поляризації Θ , пов'язаного зі струмом обміну (рівного нескінченності для ідеально поляризованого електрода), опору R_s і ємності C_s , пов'язаних з концентраційною поляризацією (з'єднані R_s і C_s зазвичай називають імпедансом Варбурга), і опору R_L , яке утворюється в результаті адсорбції атомів, іонів або молекул на поверхні електродів і в деяких випадках може бути дорівнює нулю.

В еквівалентній схемі необхідно також враховувати так звану паразитну ємність C_p , яка існує між електродами. Її величина є сумою ємностей: ємності, що визначається діелектричною постійною розчину, відстанню між електродами, що діє площею електродів, і ємності між провідниками, що йдуть до електродів. Ємність між електродами дуже мала, оскільки відстань між ними порівняно велика, тому опір конденсатора настільки великий, що його можна розглядати як розрив ланцюга. З огляду на залежності ПЕП розчинів електролітів від температури необхідно при проведенні вимірювань розміщувати осередок в термостат, що призводить до виникнення «паразитних» зв'язків, що пов'язують розчин в осередку з землею через стінки комірки (рисунок 3.2).

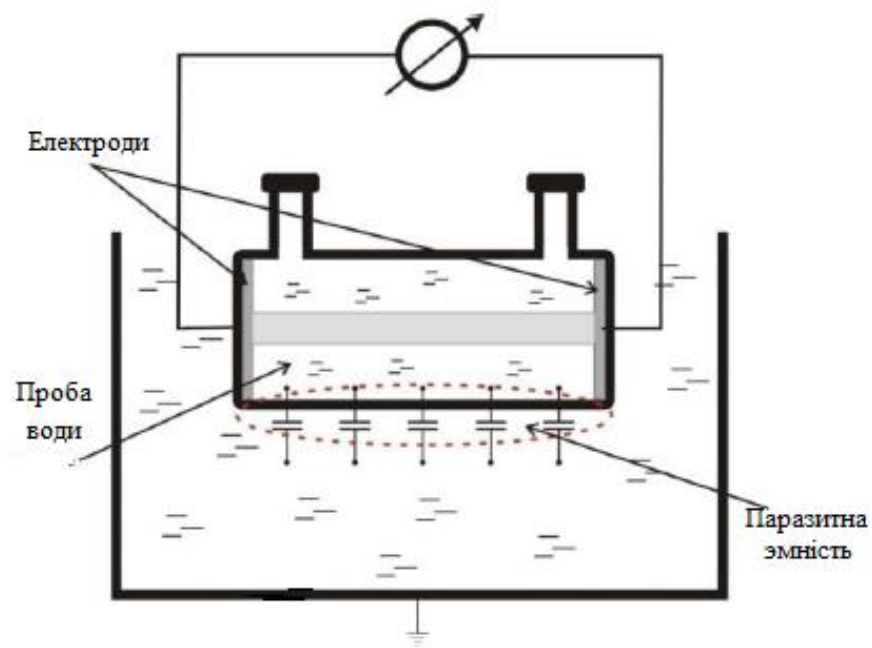


Рисунок 3.2 – Схема електричного взаємодії комірки з елементами конструкції термостата

Отже, опір комірки визначається двома величинами:

- провідникові R_{Π} , що складається з істинного опору електрода R , величина якого не залежить від частоти, з поляризаційного опору R_s , величина якого залежить від частоти, опору Θ , пов'язаного зі струмом обміну, і опору адсорбованого шару R_L

- реактивним ємнісним опором C_{Π} , що складається з паралельно з'єднаних ємностей подвійного шару C і поляризаційної ємності C_s

$$R_{\text{заг}} = R_{\Pi} + C_{\Pi} = (R + R_s + \theta + R_L) + (C + C_s) \quad (3.4)$$

3.3 Електрична модель кондуктометричного сенсора

Таким чином, модель кондуктометричної комірки, заповненої електролітом і зануреної в термостат, можна описати рівнянням електричних параметрів, а її імпеданс необхідно визначати на різних частотах скануючого сигналу. При проведенні вимірювань на одній частоті можна отримати лише підсумкові значення R і C , що відображають в узагальненому вигляді всю

сукупність процесів, що відбуваються. Більш повну інформацію можна отримати, при вивченні частотних залежностей R і C , отже, дослідження імпедансу електрохімічної системи повинно включати в себе наступні етапи :

1. Побудова еквівалентних електричних схем, тобто вираз кінетичних параметрів електрохімічних реакцій і фізичних процесів на електродах через елементи електричних схем.

2. Експериментальне визначення імпедансу електродів при варіації частоти змінного струму.

3. Знаходження еквівалентної схеми електрода з експериментальних даних і зіставлення отриманих результатів з розрахунковими еквівалентними схемами, що дають зв'язок хімічних і електротехнічних параметрів.

Для перевірки постійної комірки у всьому діапазоні використовувався метод фарадеєвського імпедансу або імпедансної спектроскопії, що заснована на теорії лінійних електрохімічних ланцюгів змінного струму. Даний метод дозволяє зв'язати повний опір комірки, тобто реакція відгуку системи, що знаходиться в рівновазі, до слабкого обурення змінним струмом з параметрами еквівалентної електричної схеми заміщення, які являють собою комбінацію елементів електричних ланцюгів, які моделюють фізико-хімічні процеси в осередку.

Електрохімічний ланцюг може бути описаний на основі теоретичного розгляду процесів, створення фізичної моделі, і шляхом конструювання електричної еквівалентної схеми з найпростіших елементів, в першу чергу, опорів (резисторів) і ємностей (конденсаторів) і в меншій мірі індуктивності, які поводяться подібно осередкам.

Електродні процеси складно відобразити виключно комбінацією RLC-елементів, тому доводиться застосовувати елементи з нелінійної передавальної характеристикою, імпеданс Варбурга (ω), відповідний гальванічним процесам на електродах.

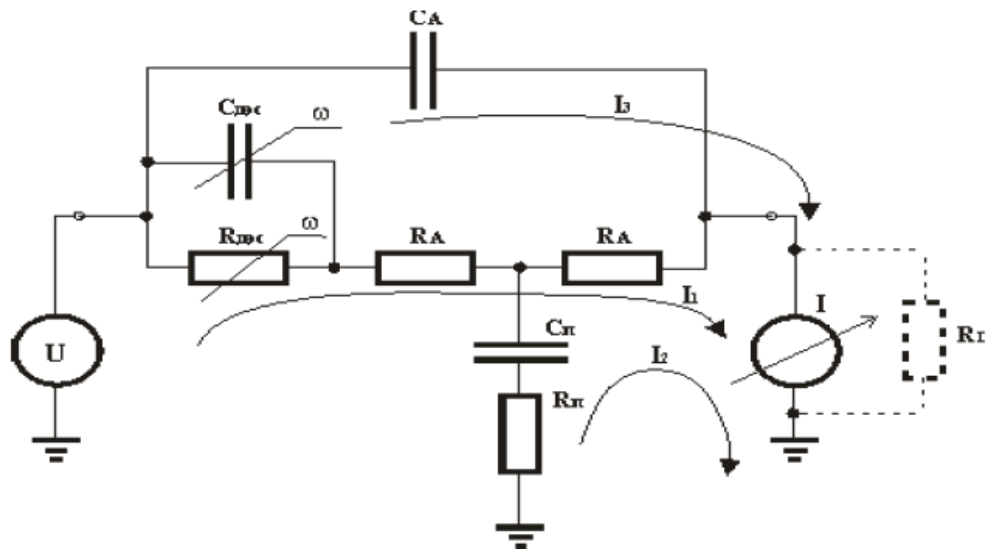


Рисунок 3.3 – Електрична схема заміщення кондуктометричної комірки

CA, RA – власні ємність і активний опір рідини в комірці;

Cдэс, Rдэс – електрична ємність і активний опір, що відносяться до електродних процесів в електроліті і залежать від частоти скануючого сигналу;

Cп, Rп – паразитні ємність і активний опір вимірювальної частини кондуктивної комірки;

RI – вхідний опір амперметра;

U – генератор сигналів;

I – амперметр;

I1, I2, I3 – контурні струми, що протікають в окремих ділянках еквівалентної схеми.

Для розрахунку електричної провідності G по формулі (3.5) використовуються значення контурних струмів I1 і I3

$$G = \frac{(I1(\omega) + I2(\omega))}{U} \quad (3.5)$$

де I1(ω), I2(ω) – контурні струми в відповідних ділянках еквівалентної схеми.

Методика розрахунку електричної провідності моделі кондуктометричної комірки застосовується для визначення значень компонентів - активних опорів, електричної ємності, а також коефіцієнтів, що входять до складу формули (3.5). Для цього використовуються результати експерименту, отримані в ході вимірювання імпедансу кондуктометричного осередку при різних частотах скануючого сигналу. Шляхом варіації значень компонентів отримують значення розрахункової провідності, максимально близької до експериментальних значень. При цих умовах, провідність рідини, що знаходиться в вимірювальному об'ємі $G_{\text{ж}}$, Ом^{-1} , визначається елементом R_A за формулою

$$G_{\text{ж}} = \frac{1}{2 \cdot R_A} \quad (3.6)$$

де R_A – опір рідини, що знаходиться в вимірювальному об'ємі, Ом .

3.4 Моделювання розподілу електричного поля в комірках

Вимірювання значення електричного струму, що проходить через кондуктометричну комірку, засноване на вимірі падіння напруги на потенційних електродах, що дозволяє позбутися впливу електрохімічних процесів в приелектродній області, але пред'являє високі вимоги до рівномірності розподілу електричного струму, як мінімум, в області потенційних електродів. Відсутність спотворень або їх мінімізація в просторі між потенційними електродами є вельми суттєвим моментом, оскільки це може бути обумовлено тільки рівномірним розподілом електричного струму, отже, в цьому випадку, різниця потенціалів на електродах буде строго пропорційна струму, що протікає через осередок і провідності рідини, що знаходиться між електродами

$$U = I G, \quad (3.7)$$

де I - електричний струм, що протікає через комірку;

G - електрична провідність рідини в об'ємі між електродами .

Зміна напрямку електричного струму поблизу потенційних електродів обумовлено різкою зміною потенціалу на кордоні електрода з огляду на те, що потенціал електрода, виконаного з металу, залишається постійним, тоді як потенціал рідини залежить від координати і визначається падінням напруги на відповідному відрізку.

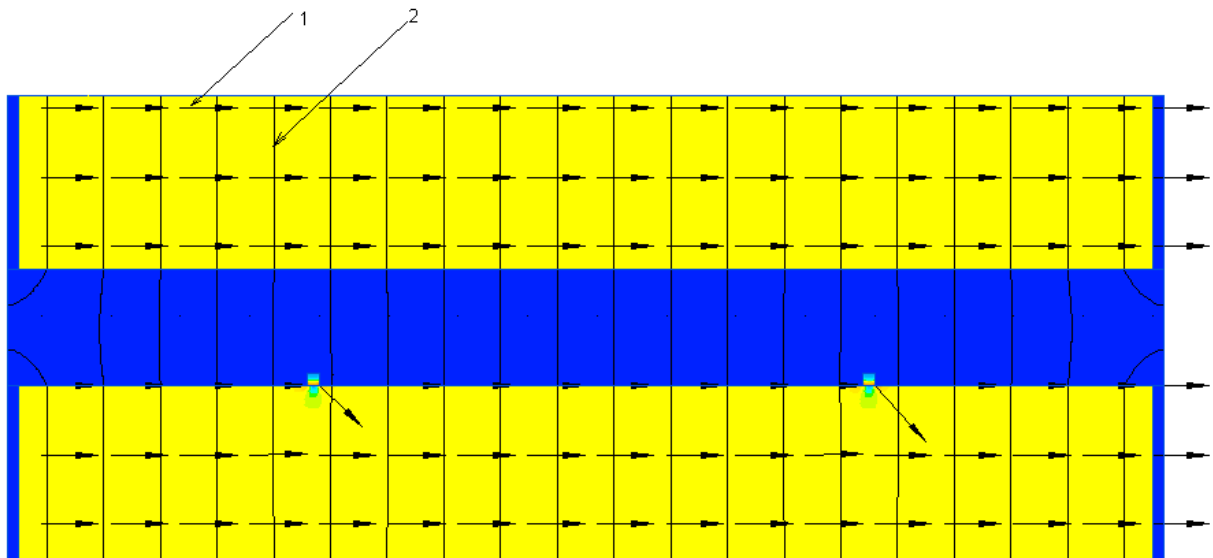


Рисунок 3.4 – Розподіл електричного струму в кондуктометричній комірці

На рисунку 3.4 позначено: 1 - вектор електричного струму; 2 - еквіпотенціальні лінії. Як видно з рисунку 3.2, потенційні електроди вносять спотворення в розподіл еквіпотенціальних ліній, відповідно, падіння напруги на ділянці між електродами відрізняється, при русі по горизонталі. Однак, відносна різниця між значеннями різниці потенціалів залишає 0,048%. Цей результат відноситься до потенційних електродів, діаметром 1 мм. При зменшенні розмір електродів до 0,5 мм, відносна різниця між значеннями різниці потенціалів зменшується до 0,032%.

Емпіричне вираження для обчислення відносного відхилення виміряного значення провідності має наступний вигляд

$$\delta = 3.34 \cdot e^{-9.78 \cdot 10^2 \cdot d} \quad (3.8)$$

де d – ширина перекриття (або щілини), виражена в метрах.

Вираз (3.8) можна розглядати як похибка вимірювальних перетворень кондуктометричної комірки.

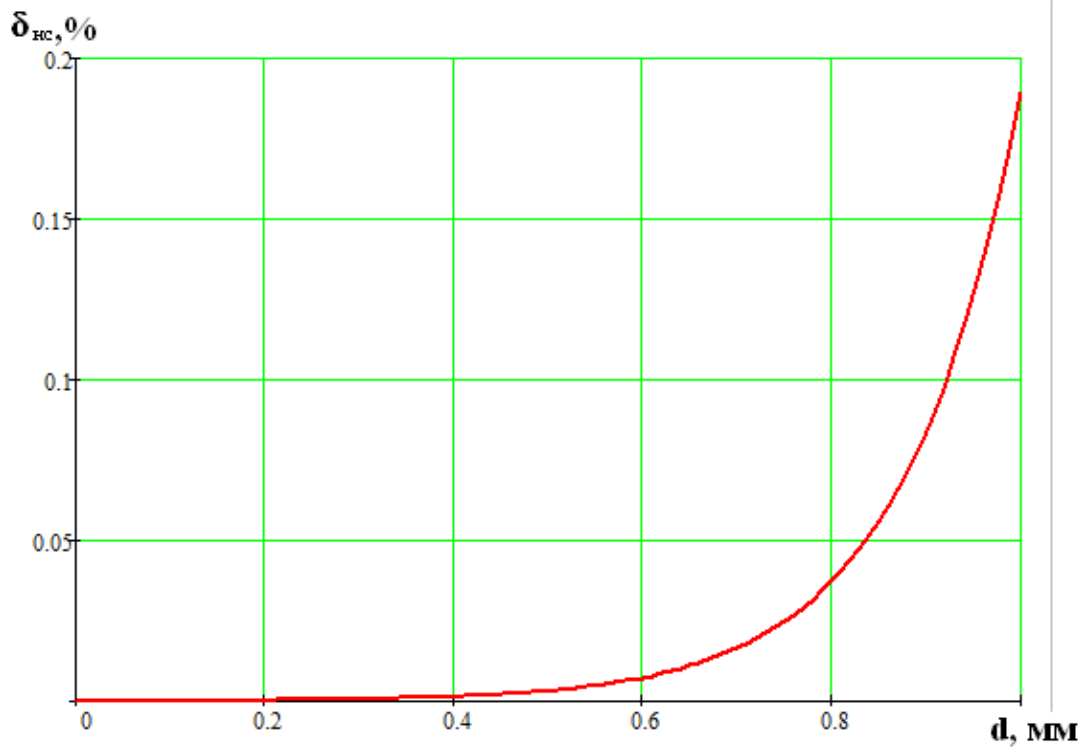


Рисунок 3.5 – Графік відносного відхилення виміряного значення провідності від центрального стрижня

За результатами експериментальних досліджень побудований графік (представлений на рисунку 3.6) відносного відхилення розрахункового значення провідності в залежності від відстані відхилення одного з електродів від вертикального (перпендикулярного осі) положення.

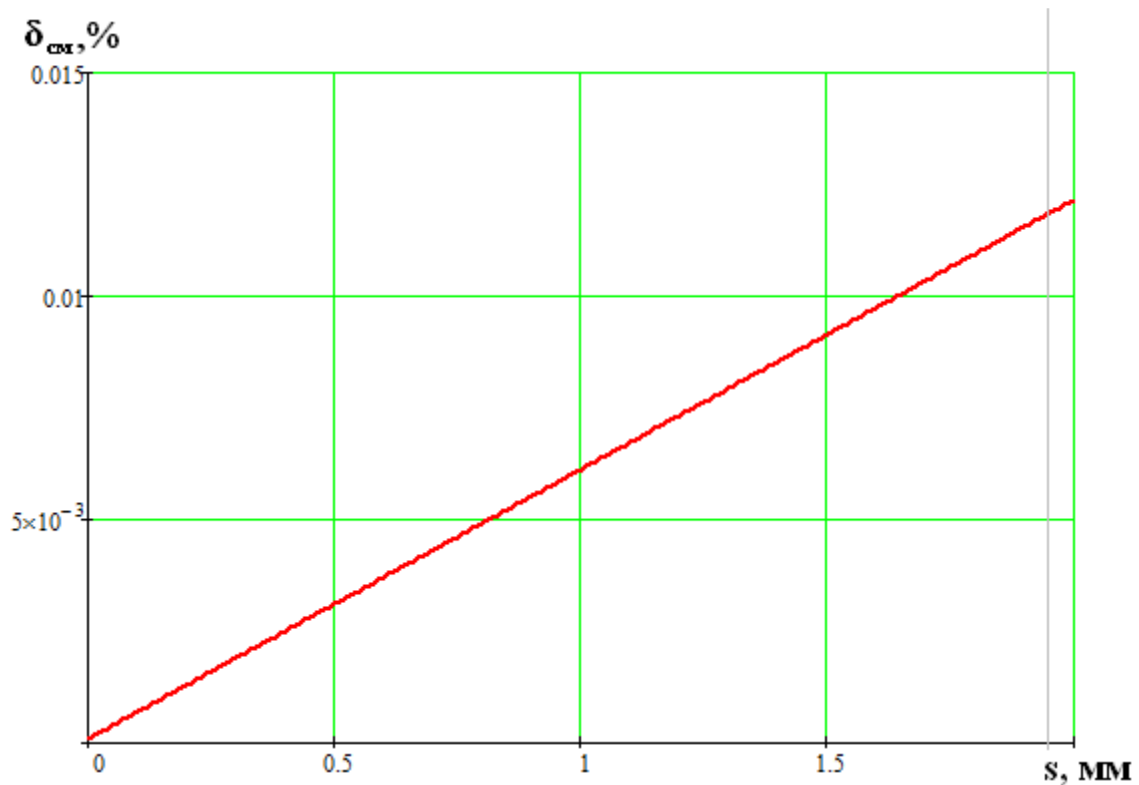


Рисунок 3.6 – Графік відносного відхилення розрахункового значення провідності в залежності від відстані відхилення одного з електродів від вертикального положення

3.5 Конструкція засобу контролю концентрації домішок у питній воді

Засіб являє собою комплект, що складається з перетворювача, сенсора електропровідності і проточного осередка. Сенсор електропровідності (рисунок 3.7) являє собою вимірювальний елемент (3), на якому встановлена знімна втулка зовнішнього циліндричного електрода (5). Залежно від того, яка встановлена втулка сенсор використовується відповідно для вимірювань питомої електропровідності чистих вод або для вимірювань в широкому діапазоні електропровідності. Електроди сенсора електропровідності виконані з нержавіючої сталі.

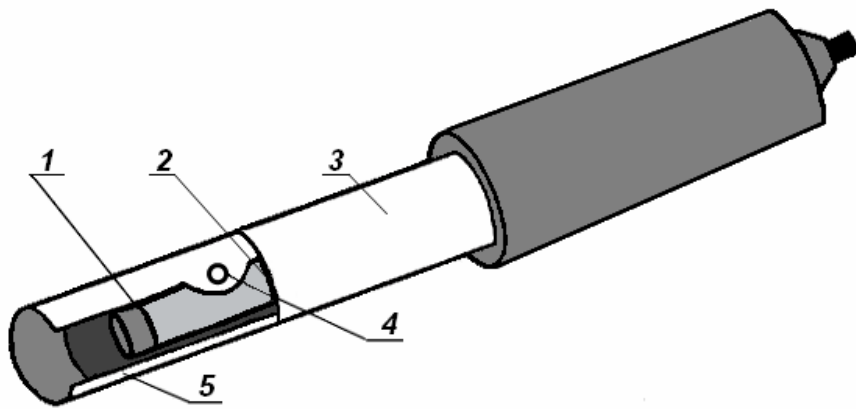


Рисунок 3.7 – Сенсор кондуктометра

На рисунку 3.7 наведено наступні позначення: 1. Внутрішній електрод. 2. Гумове кільце. 3. Вимірювальний елемент. 4. Отвір для виходу повітря. 5. Знімна втулка зовнішнього циліндричного електрода.

Для проведення вимірювань на протоці в розроблений засіб входить проточна комірка (рисунок 3.8).

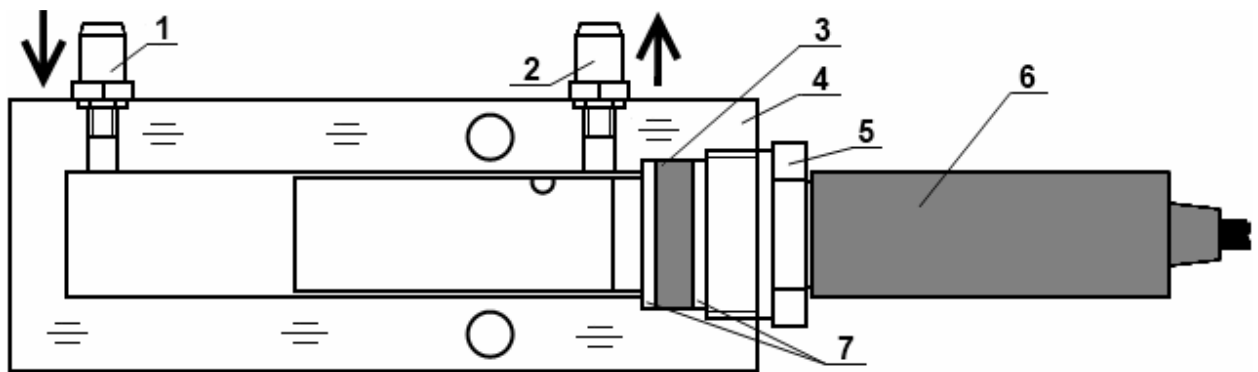


Рисунок 3.8 – Проточна комірка

На рисунку 3.8 наведено наступні позначення: 1. Вхідний штуцер. 2. Вихідний штуцер. 3. Гумове кільце. 4. Корпус. 5. Гайка. 6. Датчик. 7. Пластмасові шайби.

Корпус комірки виконаний з прозорого полімеру, що дозволяє при проведенні вимірювань візуально контролювати процес протікання проби.

3.6 Висновки до розділу

У третьому розділі роботи проведено детальний аналіз електрохімічних процесів, що відбуваються в кондуктометричному осередку, зокрема:

- Встановлено, що під час проходження змінного струму через воду в кондуктометричному осередку виникають процеси переносу зарядів, які безпосередньо залежать від концентрації іонів у розчині. Електрохімічні реакції відображають взаємодію іонів домішок із середовищем, що забезпечує можливість точного визначення їх концентрації;

- Досліджено, що змінний струм створює значущий електромагнітний вплив у просторі навколо кондуктометричного осередку. Цей вплив слугує для посилення взаємодії між іонами, покращуючи чутливість приладу до визначення концентрації домішок.

На основі отриманих результатів розроблено функціональну схему пристрою для контролю концентрації домішок у питній воді.

Кондуктометричний метод, запропонований у дослідженні, забезпечує високу точність і швидкість визначення концентрації домішок. Застосування цього методу сприяє мінімізації використання реагентів та ускладнених хімічних процедур, що робить його екологічно безпечним. Отримані результати можуть бути використані в системах моніторингу якості питної води на виробничих підприємствах, водоочисних станціях та в мобільних лабораторіях для оперативного контролю.

4 КРИТЕРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ВОДИ. РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗРОБЛЕНОГО ЗАСОБУ

4.1 Оцінка якості питної води за різними критеріями

Якщо кілька років тому бутильовану воду здебільшого можна було побачити в офісах, то сьогодні її активно використовують і на виробництвах. Але на відміну від традиційних джерел водоспоживання для підприємств, ця вода в пляшках повністю вийшла з-під контролю. Гігієнічний висновок органів охорони здоров'я щодо виконання стандартів питної води побудований на дослідженні наданої виробником партії продукції [15], тому не може бути переведений на всі обсяги, що постачаються споживачам. Варто сказати, що якість бутильованої води надзвичайно залежить від добросовісності виробника та продавця, якості упаковки та реклами.

Особливою характеристикою бутильованої води, яка виробляється для використання у виробничому середовищі для задоволення потреб працівників у питній воді, є те, що вона закуповується оптом. Через високий попит партії бутильованої води досить швидко обертаються одна за одною; деякі з них, однак, повертаються на тривале зберігання протягом кількох місяців, коли рослина не працює. Дуже часто місця зберігання не забезпечують режимних умов, спеціально не обладнані, не передбачені проектами будівництва промислових підприємств. Збереження споживчих властивостей за таких умов не гарантується.

Для дослідження стабільності бутильованої води при зберіганні в якості прикладу були взяті такі марки: «Моршинська», «Регіна», «Бонаква», «Караван». Для дослідження аналізували воду з різних джерел (згідно з супровідними документами), розливу в серпні 2019 року та грудні 2018 року одночасно, тобто через 1 та 10 місяців з дати розливу. Місячний термін з дня розливу обумовлений часом, необхідним для доставки бутильованої води до споживача від виробника. Дві партії по 4 шт. Бутильована вода розфасована об'ємом 18,9дм³ до аналізу

зберігалася в сухих складських приміщеннях при температурі від +5 °С до +20 °С без ризику попадання прямих сонячних променів згідно технічних умов. Воду в усіх ємностях аналізували в кінці терміну зберігання, зазначеного вище. Всі контейнери були надані. Спосіб пологів особливої уваги не приділявся. Фірма спочатку вироблялася автомобільним транспортом, і кожна транспортна упаковка являє собою одну коробку, розміщену на піддоні з дерев'яних дощок. Потім ці піддони розміщуються на професійних транспортних платформах, кожна по 50-55 ящиків, закріплених транспортом.

На підставі отриманих результатів можна стверджувати, що в жодній з досліджуваних ємностей не було питної води з повною відповідністю санітарним нормам і нормам правил [15].

У таблиці 4.1 наведено характеристики зразків із найбільш вираженими відхиленнями від нормативних значень. Розглянемо їх докладніше.

Таблиця 4.1 - Критерії естетичних властивостей води фасованої води

Показники	Нормативи якості, не більше	Фактична якість після зберігання терміном			
		10 місяців		1 місяць	
		«Миргородська»	«Бонаква»	«Моршинська»	«Караван»
Запах при 20 °С, бали	0	1	1	0	0
Присмак, бали	0	1	1	0	1
Водневий показник, одиниці	6,5-8,5	7,5	7,65	5,6	6,1
Хлориди (Cl ⁻), мг/д	150	7,5	8,0	7,5	9,5
Сульфати (SO ₄), мг/дм ³	150	8,6	6,9	3,9	6,0
Фосфати (PO ₄ ³⁻), мг/дм ³	3,5	0,22	0,19	0,21	0,24

Саме проба води, відлітої місяць тому («Миргородська», «Бонаква»), не відповідала нормативним показникам за такими органолептичними показниками, як Запах, Смак, Водневий показник.

Водневий показник рН досягав 0,4 та 0,9 одиниць для пляшок однієї дати розливу (зразки «Миргородська», «Бонаква»), що є неприпустимим. Для споживання людиною цю воду не можна визнати придатною. Основні сольові компоненти (хлориди та сульфати) перевищують у 1,3 та 1,5 рази відповідно. Параметрична різниця за показниками сольового складу води, що зберігалася в них 10 місяців (проби «Моршинська», «Караван»), не настільки істотна.

З точки зору токсикологічних показників бутильована вода в жодному з досліджуваних зразків не може бути визнана безпечною (табл. 4.2). Якщо вміст нітратів (основного сольового компонента), галогенів, усіх токсичних металів та неметалічних елементів не перевищував гранично допустимих концентрацій, то нітрити як показники органічного забруднення з природних та антропогенних джерел не відповідають нормам. Їх перевищення становило 2,4-3,6 раза.

Таблиця 4.2 - Критерії нешкідливості хімічного складу

Показники	Нормати- ви якості, не більше	Фактична якість після зберігання терміном			
		10 місяців		1 місяць	
		«Мирго- родська»	«Бонак- ва»	«Моршин- ська»	«Кара- ван»
Показники сольового складу:					
Нітрати (по NO ₃ ⁻), мг/дм ³	20	4,4	5,5	4,6	4,4
Токсичні метали:					
Залізо(Fe), мг/дм ³	0,3	0,12	0,12	0,14	0,11
Мідь (Cu ²⁺), мг/дм ³	1	0,07	0,03	0,02	0,08
Нікель (Ni ²⁺), мг/дм ³	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

Продовження таблиці 4.2 - Критерії нешкідливості хімічного складу

Свинець(Pb) , мг/дм ³	0,01	<0,005	<0,000 5	<0,0005	<0,0005
Цинк (Zn ²⁺), мг/дм ³	5	0,49	0,54	0,51	0,59
Токсичні неметалічні елементи:					
Миш'як (As), мг/дм ³	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Галогени:					
Хлор залишковий вільний, мг/дм ³	0,05	н/в	н/в	н/в	н/в
Показники органічного забруднення:					
Окислюваність, мг O ₂ /дм ³	2	1,2	1,2	1,2	1,6
Аміак і амоній-іон, мг/дм ³	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
Нітрит (по NO ₂ ⁻), мг/дм ³	0,005	0,016	0,018	0,013	0,012

В одній з проб («Бонаква») концентрація амоній-іонів знаходилась на межі ГДК, відповідно, дещо вищою була і перманганатна окислюваність.

У зразку «Бонаква» концентрація іонів амонію була на межі ГДК, тому окиснюваність перманганату була дещо вищою.

Зразки бутильованої води, які були однакової дати розливу, помітно відрізнялися за хімічним складом в одній партії. Непостійність хімічного складу не дозволяла зробити висновки про конкретні закономірності зміни складу з часом. З іншого боку, отримані результати були лише доказовими щодо можливості фальсифікації бутильованої води. Очевидно, на цьому плані були більше зосереджені масштабні бази.

Перевіримо фізіологічну повноцінність макро- та мікроелементного складу фасованої води та порівняємо з нормами вищої категорії (табл. 5). Жоден із зразків не відповідав вимогам державного стандарту за цією групою

показників, оскільки не був насичений іонами фтору. Один 10-місячний зразок мав рівень мінералізації на 82 мг/дм³ нижче рекомендованого рівня.

У той же час в умовах жаркого мікроклімату частка солей, що надходять в організм з питною водою, є надзвичайно важливою і нею не можна нехтувати. Загальновідомо, що працівники «гарячих» зон, під впливом високих температур та інфрачервоного випромінювання, споживають значну кількість рідини протягом робочого дня, щоб компенсувати втрати, спричинені потовиділенням. Середня потреба у воді дорослої людини становить близько 2,3-2,7 л на добу, у тому числі 1-1,5 л у вигляді вільної води [16, с. 67]. В умовах жаркого мікроклімату потреби в компенсації можуть збільшуватися до понад 5 л, а при поганій організації праці, недосконалості технологічних процесів і обладнання, за нашими спостереженнями, становлять 8 л за зміну. Втрата рідини з організму компенсується випитою рідиною.

Оскільки піт складається не тільки з води, а й з багатьох мінералів, необхідних організму, їх рекомендується додавати у воду. Однак зловживати мінеральними солями у вигляді води не рекомендується - їх втрати частково заповнюються через їжу.

Таблиця 4.3 - Показники фізіологічної повноцінності питної води

Показники	Нормативи якості, не більше	Фактична якість після зберігання терміном			
		10 місяців		1 місяць	
		«Миргородська»	«Бонаква»	«Моршинська»	«Караван»
Загальна мінералізація, мг/дм ³	200-500	246	118	260	272
Жорсткість, г-екв/дм ³	1,5-7	1,55	1,6	1,6	175
Кальцій(C_a), мг/дм ³	25-80	30,1	30,1	30,1	30,1
Магній(M_g), мг/дм ³	5-50	9,1	9,1	9,1	9,1

Продовження таблиці 4.3 - Показники фізіологічної повноцінності питної води

Бікарбонати (HCO_3), мг/дм ³	30-400	109,8	85,4	85,4	109,8
Фторид іони(F^-), мг/дм ³	0,6-1,2	0,02	н/в	н/в	н/в

Вибираючи постачання питної води на виробництво, необхідно досліджувати як джерело якості токсикологічні та органолептичні показники, а також «фізіологічну повноцінність» — відповідність мінерального складу біологічним потребам організму людини, з урахуванням об'єму спожитої води протягом робочої зміни. Що ще важливіше, слід вжити всіх можливих заходів, окрім виявлення партій фальсифікованої бутильованої води.

Якщо раніше воду додавали в рідкі харчові продукти, розбавляючи їх, наприклад: горілку, вино. соки. то тепер до їх числа можна додати і бутильовану воду, яка стане найпоширенішим видом фальсифікату. У розглянутому випадку є відразу два види фальсифікації: асортиментна - повна підміна товару зі збереженням його ознакової схожості, інформаційна - шахрайство шляхом надання неправдивих відомостей про кількісні та якісні параметри.

Однією з важливих деталей, які виявили під час дослідження, є паспорти продукції, видані виробником, які характеризують кожну партію. У них ми не побачили результатів досліджень, виражених у фактичних значеннях; лише концентраційні інтервали, з розкидом значень подекуди в кілька разів. Така практика є неприпустимою, оскільки необхідно враховувати хімічне навантаження, яке працівник отримує протягом робочої зміни ще й з питною водою. Тому лише лабораторного контролю, який проводить виробник бутильованої води, недостатньо. Шлях води від виробника до споживача важко прослідкувати, тому контроль на пунктах споживачів необхідно дублювати. Робити це необхідно безпосередньо на підприємствах і в організаціях.

Вивчення мінливості складу бутильованої води з плином часу та факторів у виробничому середовищі, безумовно, клопітка робота. це нелегко, потрібен

час, потрібні спеціалісти з сучасним лабораторним обладнанням. і це теж недешево.

Ми лише намагалися контролювати потік бутильованої води в умовах виробництва. Але це також вказувало на цінність і складність цього питання.

Обставини потрапляння в обіг фальсифікованої бутильованої питної води, нестабільність зміни її складу в часі, неоднорідність складу (і, відповідно, властивостей) – все це підкреслює доцільність віднесення питної води до факторів виробничого середовища.

З огляду на вищевикладене, а також щоб працівники виробництва були забезпечені якісною питною водою, необхідно:

- Суб'єктам господарювання будь-якої форми власності колегіально, без участі та погодження з органами екобезпеки та санітарно-епідеміологічного нагляду вирішувати питання про вибір джерела питного водопостачання виробничих приміщень. Розробити «Порядок контролю бутильованої води, яка використовується як питна у виробничих умовах».

- Проведення цілеспрямованих перевірок на підприємствах/організаціях щодо дотримання умов зберігання та споживання бутильованої води у виробничих умовах.

- Вивчення впливу умов виробничого середовища на якісний стан бутильованої води та надання відповідних рекомендацій профільними науково-дослідними установами.

- Керівники будь-якого підприємства повинні постійно інформувати працівників про якість питної води.

4.2 Давачі електричної провідності водних розчинів

Датчик вимірює, наскільки добре розчин може переносити електричний струм за допомогою датчиків провідності. Одним із параметрів, який використовується для оцінки кількості домішок у рідині, є кількість іонів, де це число базується на розчині.

Вимірювання електропровідності досить просте і одночасно ефективне для контролю якості води, наприклад — очищена вода, водопровідна вода, розчини NaCl і морська вода мають однакову температуру і різні значення електропровідності. Принцип роботи датчиків електропровідності полягає в наступному: в розчин поміщають пару електродів, електропровідність яких необхідно виміряти.

Ця напруга прикладається до електродів, змушуючи іони, що містяться в розчині, створювати струм i . Існує дві схеми вимірювання падіння напруги: 2-електродна і 4-електродна (додаток Б).

У 4-електродній схемі вимірюємо падіння напруги $U_{\text{вих}}$ в між додатковою парою потенціальних електродів. Падіння напруги $U_{\text{вих}}$ є показником електропровідності розчину.

Електропровідність σ визначається як величина, зворотна опору в комірці. Осередок вважається одиничним об'ємом, обмеженим струмовими електродами площею S на відстані d . Оскільки значення S і d є значеннями, визначеними геометрією датчика, вони постійні та виражаються через постійну комірки k ;

$$k = \frac{d}{S} \quad (4.1)$$

Таким чином, питома провідність обчислюється за формулою

$$m\sigma = \frac{k}{R} \text{ або } \sigma = \frac{k \cdot i}{U_{\text{вих}}}, \quad (4.2)$$

де змінною є напруга $U_{\text{вих}}$.

Електропровідність визначається концентрацією іонів у розчині та їх рухливістю. Кожен з цих параметрів залежить від температури розчину. Тому вимірювання електричної провідності слід проводити разом із моніторингом температури рідини. Оскільки концентрація і рухливість іонів залежать від

температури, температуру необхідно контролювати під час вимірювання провідності [17].

Комірка, яка використовується для вимірювання електропровідності, складається з двох інертних (платинових) електродів, занурених у розчин електроліту. Еквівалентна схема батареї наведена в додатку В.

На схемі R_1 і R_2 —електричні еквіваленти електродних реакцій; C_1 і C_2 — ємності подвійного електричного шару (ДЕС) електродів; R_x — опір розчину між електродами; C — ємність двох електродів.

Для вимірювання R_x важливо, щоб через резистори R_1 і R_2 не протікав струм, тобто не відбувались електрохімічні процеси на електродах. Тому при проведенні вимірів через осередок пропускається змінний струм з частотою близько 1 кГц. Ємності C_1 і C_2 не створюють перешкод для протікання змінного струму, якщо їх значення достатньо велике. Для збільшення ємностей C_1 і C_2 електроди виготовляються з великою поверхнею. Якщо електроди розташовані на відстані близько 1 см один від одного, ємність C залишається малою, і опір комірки залежить виключно від опору розчину R_x .

Опір провідника будь-якого виду R пропорційна його довжині l і обернено пропорційно площі його перетину S

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (4.3)$$

де ρ - питомий опір провідника.

Електрична провідність – величина, зворотна опору

$$\omega = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{S}{l} = k \cdot \frac{S}{l}. \quad (4.4)$$

Вимірюється в сіменсах ($1 \text{ См} = 10 \text{ м}^{-1}$). Величина k , зворотна питомому опору, називається питомою електричною провідністю і являє собою

електропровідність розчину об'ємом 1 см^3 , поміщеного між паралельними електродами площею 1 см^2 на відстані 1 см . Питома провідність вимірюється в $\text{Ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$.

Відповідно до закону Ома

$$I = \frac{U}{R} = U \cdot k \frac{s}{l} \quad (4.5)$$

отже,

$$\frac{I}{s} = j = k, \quad (4.6)$$

де j – щільність струму ($\text{А} / \text{см}^2$); U / l – градієнт потенціалу або напруженість поля ($\text{В} / \text{см}$).

Іони в розчині перебувають у стані хаотичного теплового руху. Коли на них діє електричне поле, іони набувають спрямованого руху: катіони рухаються до катода, а аніони — до анода. Швидкість їхнього руху пропорційна градієнту електричного потенціалу.

$$v_{\text{напр}} = u \cdot \frac{U}{l}, \quad (4.7)$$

де u – коефіцієнт пропорційності, званий рухливістю іона.

Щільність струму, що переноситься іонами, пропорційна їх заряду z , концентрації c (моль/ см^3) та швидкості спрямованого руху іонів $v_{\text{напр}}$ F – постійна Фарадея)

$$j_+ = z_+ \cdot c_+ \cdot u_+ \cdot (U / l) \cdot F, \quad (4.8)$$

$$j_- = z_- \cdot c_- \cdot u_- \cdot (U / l) \cdot F. \quad (4.9)$$

Сумарна щільність струму

$$j = j_+ + j_- = z_i \cdot c_i \cdot (U / l) \cdot F \cdot (u_+ + u_-). \quad (4.10)$$

Оскільки з умови електронейтральності розчину $z_+ \cdot c_+ = z_- \cdot c_- = z_i \cdot c_i$. Підставимо отриманий вираз в (7) і знайдемо питому електричну провідність

$$k = z_i \cdot c_i \cdot F \cdot (u_+ + u_-). \quad (4.11)$$

Сильні електроліти дисоційовані в розчинах повністю, тому концентрацію будь-якого іона можна виразити через молярну концентрацію електроліту C

$$c_i = \frac{v_i \cdot C}{1000}, \quad (4.12)$$

де v_i – число іонів даного знака в формульній одиниці електроліту. Підставимо в (4.12)

$$k = \frac{z_i \cdot v_i \cdot C \cdot F \cdot (u_+ + u_-)}{1000} = \frac{k = z \cdot C \cdot F \cdot (u_+ + u_-)}{1000}, \quad (4.13)$$

де $z = z_+ \cdot v_+ + z_- \cdot v_-$ – число еквівалентів на 1 формальну одиницю електроліту.

З рівняння видно, що питома електропровідність сильних електролітів залежить від концентрації та рухливості іонів. При низьких концентраціях, коли відстань між іонами велика, електростатична взаємодія є незначною, і питома електрична провідність збільшується зі збільшенням концентрації. Однак при високих концентраціях, коли відстань між іонами зменшується, електростатичні взаємодії між іонами стають важливими, що призводить до зниження їх рухливості. В результаті на графіку питомої провідності залежно від концентрації виникає максимум. Концентрація іонів в розчинах слабких електролітів залежить від ступеня дисоціації α

$$C_i = \frac{\alpha \cdot v_i \cdot C}{1000}. \quad (4.14)$$

Підставимо (4.14) в (4.15)

$$k = z \cdot \frac{\alpha \cdot C \cdot F \cdot (u_+ + u_-)}{1000}. \quad (4.15)$$

4.3 Дослідження адекватності розробленої математичної моделі. Аналіз та оцінення похибок вимірювань

Джерела похибок для сенсора електропровідності розчину можуть виникати через різні фактори, пов'язані з властивостями самого сенсора, умовами вимірювання, а також впливом зовнішнього середовища. Основні джерела похибок:

- Фізико-хімічні властивості розчину: Провідність розчину сильно залежить від температури. Якщо сенсор не має температурної компенсації або компенсація неточна, це спричиняє похибку; Зміна складу розчину: Забруднення або осад у розчині можуть змінювати реальні значення електропровідності; Інтерференція іонів: У розчинах із високим вмістом певних іонів (наприклад, хлоридів) можуть виникати специфічні перешкоди у вимірюванні; Поляризація електродів: У висококонцентрованих розчинах або за великої напруги на електродах можуть виникати ефекти поляризації, що спотворюють результат; Неоднорідність розчину: Якщо розчин недостатньо перемішаний, це може спричинити локальні варіації провідності.

- Особливості сенсора: Калібрування: Невідповідне калібрування сенсора (або його відсутність) може суттєво впливати на точність вимірювань; Зношування електродів: З часом електроди можуть кородувати, покриватися осадами або забруднюватися, що змінює їх властивості; Геометрія комірки: Зміна

Розрахунки показують, що найбільше відхилення від дійсного значення становить 10,092%. Таким чином, максимальні абсолютна, відносна та зведена похибки визначення концентрації за допомогою засобу контролю дорівнюють

$$\Delta = X_B - X_D = 0.092PPM \quad (4.16)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{X_D} = \frac{10.092 - 10.000}{10.000} \cdot 100\% = 0.92\%. \quad (4.17)$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\% = \frac{0.092}{100} \cdot 100\% = 0.092\%. \quad (4.18)$$

Єдині правила встановлення меж допустимих похибок показань за класами точності засобів вимірювань регламентує ДСТУ 8.401-80. Приймаємо клас точності приладу 0.1. Тоді граничне значення зведеної похибки

$$-\gamma_{zp} < \gamma < +\gamma_{zp} \Rightarrow -0.1\% < \gamma < 0.1\% \quad (4.19)$$

Знайдемо допустимі границі абсолютної та відносної похибок за формулами

$$\Delta_{zp} = \pm \frac{\gamma_{zp}}{100\%} \cdot X_N = \pm 0.1PPM \quad (4.20)$$

$$\delta_{zp} = \pm \gamma_{zp} \cdot \frac{X_N}{X_B} = \pm 0.99\% \quad (4.21)$$

Граничне значення абсолютної похибки залишається постійним (незалежно від величини, що вимірюється), тоді як відносна похибка збільшується зі зменшенням вимірюваної величини. Це означає, що точність засобу вимірювання погіршується, якщо показання приладу суттєво менші за

його межу вимірювання. Здійснюючи вимірювання за допомогою приладу X_{II} , отримуємо оцінку величини, де її істинне значення X перебуває в межах.

$$X_{II} - \Delta_{ep} < X < X_{II} + \Delta_{ep} \Rightarrow -9.9PPM < X < 10.1PPM \quad (4.22)$$

4.4 Розробка порівняльної оцінки якості бутильованої питної води різних виробників

Забезпечення якісною питною водою є однією з першочергових проблем для багатьох регіонів України. Вирішення цієї проблеми необхідне для збереження здоров'я населення, поліпшення умов життєдіяльності та підвищення рівня життя. Якість питної води визначається її складом і властивостями, які роблять її придатною для споживання людьми.

В умовах зростаючого антропогенного навантаження на довкілля, розвитку суспільного виробництва і зростання матеріальних потреб, особливу увагу приділяють моніторингу якості питної води. Основними факторами, що негативно впливають на цю якість, є:

- незадовільний екологічний стан поверхневих і підземних джерел водопостачання;
- поганий технічний стан та зношеність інфраструктури підприємств, що забезпечують водопостачання та водовідведення;
- використання застарілих технологій і обладнання на цих підприємствах у населених пунктах;
- обмеженість інвестицій та дефіцит фінансових ресурсів для модернізації і підтримки в належному стані систем водопостачання і водовідведення;
- застарілі нормативно-технічні і правові акти, державні санітарні норми і правила у сфері виробництва питної води [24].

Якісна вода – це рідина з фізичними та хімічними характеристиками, які відповідають рекомендаціям Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ).

Вода вважається придатною для споживання лише тоді, коли її характеристики відповідають стандартам ВООЗ для питної води. Рідина для споживання людиною має специфічні ознаки: колір, запах, склад та ін. Іменування цих ознак і різних характеристик числовим значенням різних властивостей називається показниками якості. Показники питної води поділяють на 5 груп:

1. Жорсткість показує, скільки солей міститься в 1 мг рідини. Чим вище жорсткість, тим більше солей, відповідно, тим небезпечніше для вживання така вода, оскільки солі мають властивість відкладатися у внутрішніх органах (нирках, печінці), що призводить до різних захворювань.

2. Лужність є критерієм рівня щільності лугів у рідині. Чим вище лужність, тим гірша якість води. Рівень рН впливає на обмінні процеси в організмі і стан тканин і м'язів організму. Чим здоровіше середовище, тим ближче до нейтрального значення рН.

3. Гігієнічні властивості доступні за мікробіологічними та вірусними показниками. Перевіряється мікрофлора рідини: наявність умовно-патогенних бактерій і вірусів, небезпечних для людини.

4. Органолептичні показники - первинні дані про смак, прозорість і запах рідини. Їх визначають дослідним шляхом. Якісна вода повинна бути прозорою, без запаху і смаку.

5. Токсикологія – показник наявності в рідині різних отруйних сполук, наприклад пестицидів або фенолів, свинцю або алюмінію. Їх накопичення в організмі призводить до серйозних захворювань.

У домашніх умовах можна перевірити органолептичні показники питної води та наявність патогенної мікрофлори за допомогою простого методу відстоювання. Для цього потрібно залишити воду в прозорій ємності, наприклад, у пляшці, на 2-3 доби при кімнатній температурі. За цей час можуть утворитися осадки або змінитися колір, що вказує на наявність домішок або мікроорганізмів. Зміни в запаху чи кольорі води можуть свідчити про її непридатність для пиття. Цей метод дає лише попередню оцінку якості води, і для більш точних результатів слід використовувати спеціалізовані лабораторні дослідження. Якщо

за цей час не відбулося видимих змін, вода безпечна. Якщо раптом відбулася зміна кольору, з'явився осад, помутніння, пластівці, неприємний запах, то пити не варто. Також можна нагріти цю воду та подивитися чи не утворився осад під час кип'ятіння. Крім того, може з'явитися неприємний запах.

Єдиний надійний спосіб оцінити якість та безпечність питної води – це лабораторне дослідження на ці показники будь-якою сертифікованою лабораторією. Дійсно, мікробне забруднення або значна кількість певних хімічних речовин не змінює суттєво органолептичних властивостей води (смак, запах, колір) і тому подібне — відповідно, вода не викликає підозр безпечності у споживача, особливо коли не скаржиться на здоров'я в поєднанні з тривалим застосуванням [26].

Під час виконання дослідження проводились органолептичні аналізи якості питної бутильованої води за п'ятибальною шкалою (див. табл. 4.2). Вибір об'єктів дослідження припав на зразки бутильованої води ємністю 0,5 л різних марок, таких як «Моршинська», «Регіна», «Караван», «Бонаква» та «Бювет». Оцінка якості води здійснювалась за органолептичними показниками, зокрема: зовнішнім виглядом, прозорістю, смаком, запахом та кольором. Для цього використовувалась п'ятибальна шкала оцінки.

Таблиця 4.2 – Органолептична оцінка води за 5-бальною системою

Назва показника/кількість балів	1 бал	2 бали	3 бали	4 бали	5 балів
Зовнішній вигляд	Дуже неприємний не властивий питній воді	Неприємний не властивий питній воді	Приємний, але не властивий питній воді	Приємний, властивий питній воді з незначним відхиленням	Приємний властивий питній воді
Прозорість	Низька з значним забарвленням	Низька з незначним забарвленням	Середня з незначним забарвленням	Висока з незначним забарвленням	Висока

Продовження таблиці 4.2 – Органолептична оцінка води за 5-бальною системою

Присмак	Дуже не приємний, не властивий питній воді	Неприємний не властивий питній воді	Приємний, але не властивий питній воді	Приємний, властивий питній воді з незначним стороннім присмаком	Приємний властивий питній воді без стороннього присмаку
Запах	Сильний яскраво виражений запах	Дуже добре відчувається сторонній запах	Приємний запах, але не властивий питній воді	Приємний, властивий питній воді з незначним стороннім запахом	Не відчувається
Колір	Зелений або жовтий прозорий з значним забарвленням	Зелений або жовтий прозорий з незначним забарвленням	Світло-зелений прозорий з незначним забарвленням	Білий прозорий з незначним забарвленням	Білий прозорий

Таблиця 4.3 – Результати органолептичного дослідження

Назва показника/об'єкт дослідження	«Миргородська»	«Бонаква»	«Buvette»	«Караван»	«Моршинська»
Зовнішній вигляд	5	5	5	5	5
Прозорість	5	4	4	5	5
Присмак	4	3	4	4	5
Запах	4	4	4	4	5
Колір	4	4	5	5	5
Середній бал	4,4	4	4,4	4,6	5

За результатами проведеної органолептичної оцінки зразок бутильованої питної води «Моршинська» отримав найвищу оцінку, оскільки мав високі бали за всіма показниками. Найнижчу оцінку за результатами органолептичної оцінки отримав зразок «Бонаква» через низьку оцінку за показником присмаку.

Виявлено відсутність шкідливих домішок у пляшках ємністю 0,5 л марок бутильованої питної води: «Моршинська», «Регіна», «Бювет», «Бонаква» та «Караван».

4.5 Висновки до розділу

У розділі було досліджено адекватність математичної моделі сенсора електропровідності, призначеного для оцінювання якості питної води. Математична модель сенсора електропровідності продемонструвала високу відповідність експериментальним даним. Встановлено, що модель коректно описує взаємозв'язок між концентрацією йонів у воді та її електропровідністю в діапазоні параметрів, що відповідають якості питної води. Проведено порівняння теоретичних результатів із експериментальними даними, що дозволило оцінити похибку моделі. Середнє відхилення вимірених значень від розрахованих склало не більше 1%, що свідчить про високу точність сенсора.

Розроблена математична модель може бути використана для створення сенсорів електропровідності з підвищеною точністю для систем моніторингу якості води. Це сприятиме покращенню контролю якості питної води та її відповідності санітарним нормам.

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого підходу та дають змогу вдосконалювати сенсори для аналізу води в умовах різного забруднення.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

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.

Магістерська кваліфікаційна робота з розробки та дослідження «Засіб контролю якості питної води» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Засіб контролю якості питної води» 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, наведеними в табл. 5.1 [15,16].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає

Продовження таблиці 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витрачати значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – 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)	4	4	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	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)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	3
Сума балів	37	39	38
Середньоарифметична сума балів CB_c	38,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [15,16].

Таблиця 4.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів CB розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Засіб контролю якості питної води» становить 38,0 бала, що, відповідно до таблиці 5.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [15,16]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.1)$$

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.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.2)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (5.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірю- вання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Похибка	%	2	1	2	0,25
Чутливість	ppm	3	1	3	0,2
Швидкодія	с	1	0,2	10	0,15
Зона нечутливості	ppm	До 10	До 3	3	0,25
Багатокомпонентність	Од.	10	11	1,1	0,15

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 2 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 1,1 \cdot 0,15 = 3,52.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 3,52 рази.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

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

Витрати на оплату праці. До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників. Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_o$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [15,16]

$$З_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.4)$$

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, $T_p=21$ дні.

$$З_o = 17750,00 \cdot 10 / 21 = 7727,30 \text{ (грн.)}.$$

$$\Pi B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i \text{ ро́ведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.}$$

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Менеджер проекту (координатор)	17750,00	772,73	10	7727,30
Інженер-конструктор мікро та нанопроцесорної техніки	16600,00	750,00	21	15750,00
Лаборант	8000,00	681,82	10	6818,20
Всього				30295,50

Основна заробітна плата робітників. Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Засіб контролю якості питної води» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.5)$$

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

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [15,16];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,70 \cdot 1,15 / (21 \cdot 8) = 93,10 \text{ (грн.)}.$$

$$З_{pl} = 93,10 \cdot 8,00 = 744,76 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Формування макету	8,00	5	1,70	93,10	744,76
Виготовлення плати	12,00	6	2,00	109,52	1314,29
Наладка	3,00	5	1,70	93,10	279,29
Випробування плати	4,00	6	2,00	109,52	438,10
Підгонка корпусу	1,20	5	1,70	93,10	111,71
Монтаж плати	0,80	6	2,00	109,52	87,62
Всього					2975,76

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

$$Z_{\text{доо}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доо}}}{100\%}, \quad (5.7)$$

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

$$Z_{\text{доо}} = (30295,50 + 2975,76) \cdot 10 / 100\% = 3327,13 \text{ (грн.)}.$$

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

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доо}}) \cdot \frac{H_n}{100\%} \quad (5.8)$$

де H_n – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (30295,50 + 2975,76 + 3327,13) \cdot 22 / 100\% = 8051,65 \text{ (грн.)}.$$

Сировина та матеріали. До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Засіб контролю якості питної води».

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

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{с.ж}}, \quad (5.9)$$

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_{vj} – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.).

$$M_1 = 2,0 \cdot 180,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 396,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
USB-пам'ять	180,00	2,0	0	0	396,00
Диск оптичний	25,00	4,0	0	0	110,00
Картридж для принтера	920,00	1,0	0	0	1012,00
Начиння канцелярське	195,00	3,0	0	0	643,50
Органайзер офісний	183,00	3,0	0	0	603,90
Папір для заміток (A5)	90,00	4,0	0	0	396,00
Папір канцелярський офісний (A4)	212,00	2,0	0	0	466,40
Хлорне залізо	265,00	0,050	0	0	14,58
Дріт монтажний (м)	15,50	0,050	0	0	0,85
Лак УР-231	328,00	0,020	0	0	7,22
Спирт етиловий	240,00	0,250	0	0	66,00
Припій ПОС-61	563,00	0,010	0	0	6,19
Флюс БС-2	468,00	0,010	0,000	0,00	5,15
Всього					3727,78

Розрахунок витрат на комплектуючі. Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Засіб контролю якості питної води», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.10)$$

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

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

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

$$K_6 = 1 \cdot 165,00 \cdot 1,1 = 181,50 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Жк дисплей	1	165,00	181,50
Електроди	1	105,00	115,50
Мікроконтролер	1	354,00	389,40
Корпус	1	206,00	226,60
Блок живлення	1	185,00	203,50
Всього			1116,50

Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт. До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{снел}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{нр.і}} \cdot K_i, \quad (5.11)$$

де $Ц_i$ – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.);
 $С_{np.i}$ – 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.

$$B_{\text{спец}} = 7818,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 8599,80 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Осцилограф	1	7818,00	8599,80
Вольтметр	1	9400,00	10340,00
Всього			18939,80

Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт. До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k Ц_{npz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i , \quad (5.12)$$

де $Ц_{npz}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);
 $С_{npz.i}$ – 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.

$$B_{npz} = 7910,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 8701,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.10

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладне програмне забезпечення розробки та моделювання MATLAB	1	7910,00	8701,00
Доступ до мережі Internet (високошвидкісний) грн/місяць	1	350,00	385,00
Всього			16566,00

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

$$A_{obl} = \frac{Ц_{\bar{o}}}{T_{\bar{e}}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де $Ц_{\bar{o}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

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

$T_{\bar{e}}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{obl} = (38999,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 1083,31 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Комп'ютеризована система проектування	38999,00	3	1	1083,31
Вимірювальний комплекс	14520,00	5	1	242,00
Маршрутизатор TP-LINK ER605 V2 SafeStream	2249,00	4	1	46,85
Осцилограф цифровий	7200,00	5	1	120,00
Вольтметр повірочний	18000,00	5	1	300,00
Лабораторія досліджень	380000,00	25	1	1266,67
Робоче місце інженера-конструктора (спеціалізоване)	8960,00	5	1	149,33
Оргтехніка	9400,00	4	1	195,83
Офісне програмне забезпечення (Windows, Microsoft Office)	10200,00	3	1	283,33
Монтажне обладнання	6700,00	7	1	79,76
Всього				3767,09

Паливо та енергія для науково-виробничих цілей. Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

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.); (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

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

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

$$B_e = 0,32 \cdot 160,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 562,18 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, (грн.)
Комп'ютеризована система проектування	0,32	160,0	562,18
Вимірювальний комплекс	0,10	20,0	21,96
Маршрутизатор TP-LINK ER605 V2 SafeStream	0,03	160,0	52,70
Осцилограф цифровий	0,08	20,0	17,57
Вольтметр повірочний	0,09	20,0	19,76
Монтажне обладнання	0,50	1,5	8,24

Продовження таблиці 5.12 – Витрати на електроенергію

Робоче місце інженера-конструктора (спеціалізоване)	0,12	160,0	210,82
Оргтехніка	0,32	3,0	10,54
Всього			903,76

Службові відрядження. До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Засіб контролю якості питної води» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

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

Інші витрати. До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

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

$$I_{\varepsilon} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{i\varepsilon}}{100\%}, \quad (5.15)$$

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

$$I_{\varepsilon} = (30295,50 + 2975,76) \cdot 50 / 100\% = 16635,63 \text{ (грн.)}$$

Накладні (загальновиробничі) витрати. До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

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

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.16)$$

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

$$B_{нзв} = (30295,50 + 2975,76) \cdot 100 / 100\% = 33271,26 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Засіб контролю якості питної води» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{доо} + З_n + M + K_v + B_{стел} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.17)$$

$$B_{заг} = 30295,50 + 2975,76 + 3327,13 + 8051,65 + 3727,78 + 1116,50 + 18939,80 + 16566,00 + 3767,09 + 903,76 + 0,00 + 0,00 + 16635,63 + 33271,26 =$$

$$= 139577,86 \text{ (грн.)}.$$

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

$$3B = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (5.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,9$.

$$3B = 139577,86 / 0,9 = 155086,51 \text{ (грн.)}.$$

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

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Засіб контролю якості питної води» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

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	500	1000	1300	1100

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 12000 осіб;

C_6 – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 1200,00 (грн.);

$\pm \Delta C_6$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 518,00 (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 [16]

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{\vartheta}{100}), \quad (5.19)$$

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 $\rho = 35\%$;

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

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (518,00 \cdot 12000,00 + 1718,00 \cdot 500) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1685335,75 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= (518,00 \cdot 12000,00 + 1718,00 \cdot 1500) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 2094580,53 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= (518,00 \cdot 12000,00 + 1718,00 \cdot 2800) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 2626598,74 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_4 &= (518,00 \cdot 12000,00 + 1718,00 \cdot 3900) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = \\ &= 3076768,00 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

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

$$ППП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.20)$$

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, $\tau=0,15$;

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

$$\begin{aligned} ППП &= 1685335,75/(1+0,15)^1 + 2094580,53/(1+0,15)^2 + 2626598,74/(1+0,15)^3 + \\ &+ 3076768,00/(1+0,15)^4 = 1465509,35 + 1583803,80 + 1727031,31 + 1759152,09 = \\ &= 6535496,55 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.21)$$

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

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 155086,51 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 155086,51 = 310173,03 \text{ (грн.)}.$$

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

$$E_{abc} = III - PV \quad (5.22)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 6535496,55 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 310173,03 (грн.).

$$E_{abc} = III - PV = 6535496,55 - 310173,03 = 6225323,52 \text{ (грн.)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{θ} , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_{\theta} = T_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.23)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 6225323,52 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 310173,03 (грн.);

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

$$E_{\theta} = T_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 6225323,52/310173,03)^{1/4} - 1 = 1,14.$$

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

$$\tau_{\min} = d + f, \quad (5.24)$$

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, прийmemo 0,35.

$\tau_{min} = 0,11 + 0,35 = 0,46 < 1,14$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Засіб контролю якості питної води» доцільно.

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

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.25)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,14 = 0,88 \text{ р.}$$

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

5.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Засіб контролю якості питної води» становить 38,0 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 3,52 рази.

Також термін окупності становить 0,88 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 якості питної води».

ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи аналізу якості питної води можна зробити наступні висновки та пропозиції.

В ході роботи було розглянуто методи для проведення аналізу якості питної води. При проведенні порівняльного аналізу методів визначення якості питної води виявилось, що найбільш надійним та перспективним є фізико-хімічний метод, тому, що цей вид дослідження покликаний визначити наявність в питній воді різних домішок які визначаються за кількома показниками: жорсткість, мінералізація, лужність, окиснюваність, які шкідливі для здоров'я людини. Семе за допомогою цього методу, через його доступність у використанні дослідження можна провести не тільки у лабораторіях, а і самостійно.

Розібрані електрохімічні процеси, які відбуваються всередині кондуктометричного осередку і в навколишньому її значущому просторі, виникає в результаті проходження змінного струму. Розроблено функціональну схему засібу контролю концентрації домішок у питній воді.

Також термін окупності становить 0,88 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Організаційно-економічні основи удосконалення процесів регіонального водопостачання [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/25410/1/Dolhodush_Kremenchuk_Orh_ek_osn_udos_protos_reh_vodopost.pdf
2. Питна вода [Електронний ресурс] - Режим доступу: [:http://www.npblog.com.ua/index.php/ekologiya/pitna-voda.html](http://www.npblog.com.ua/index.php/ekologiya/pitna-voda.html)
3. Порівняльна оцінка якості питної води з закритих джерел м. Харкова / Н. Б. Кравченко, Є .І. Зеленська // [Людина та довкілля. Проблеми неоекології](#). - 2015. - № 3-4. - С. 84-88.
4. Підготовка питної води до виробництва [Електронний ресурс] / Бухкало С.І. / - Режим доступу : http://pfor.com/book_332_glava_108_GLAVA_33_P%D0%86DGOTOVKA_PITN_O%D0%87_.html
5. Вдосконалення нормативно-методичного забезпечення для оцінювання якості питного водопостачання: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.02 / Гонсьор Оксана Йосипівна / Національний ун-т "Львівська політехніка". - Л., 2008. - 20 с.
6. Прилади для аналізу води [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://labprice.ua/priladi-dlya-laboratoriy/priladi-dlya-analizu-vodi/>
7. Димань Т.М., Барановський М.М., Білявський Г.О. та ін. Екотрофологія. Основи екологічно безпечного харчування. Навчальний посібник/ За наук. Ред. Т.М.Димань. – К.: Лібра, 2006. – 304 с.
8. Тестер води Xiaomi Mi TDS Pen [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://rozetka.com.ua/ua/xiaomi_mi_tds_pen/p7398815/
9. Xiaomi TDS [Електронний ресурс] - Режим доступу : <https://mi.com/blog/review/chto-takoe-xiaomi-tds-tester-vody-i-dlya-chego-on-nuzhen.html>

10. Якість питної води та її вплив на здоров'я населення [Електронний ресурс] / Редакція газети "Вісті Світловодщини" – 2018. - Режим доступу: <https://svitvisti.com/yakist-pytnoyi-vody-ta-yiyi-vplyv-na-zdorov-ya-naselennya/>
11. Якість питної води та її вплив на здоров'я населення [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://dpss-ks.gov.ua/novini/yakist-pitno%D1%97-vodi-ta-%D1%97%D1%97-vpliv-na-zdorovya-naselennya>
12. Матричний метод оцінки якості питної води на основі чинної нормативно-технічної документації / Роман Байцар, Володимир Ванько, Марія Ванько // Вимірювальна техніка та метрологія : міжвідом. наук.-техн. зб. / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка"; відп. ред. Б. І. Стадник. — Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2005. — С. 191-195.
13. Критерії якості питної води [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://dpss-ks.gov.ua/novini/kriterii-yakosti-pitnoi-vodi>
14. Проблема питної води в Україні [Електронний ресурс] /С. Стасюк, В. Майданович/ - Режим доступу : <https://aw-therm.com.ua/problema-pitnoyi-vodi-v-ukrayini/>
15. В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
16. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.
17. S.O. Olatinwo, and T. H. Joubert, "Energy efficient solutions in wireless sensor systems for water quality monitoring: A reiew," IEEE Sensors Journal, vol. 19, no. 5, pp. 159 - 1625, 2019.
18. N. Radhakrishnan, and A.S. Pillai, "Comparison of water quality classification models using machine learning," in Proc. 2012 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES) IEEE, 2020, pp. 1183-1188.

19. S.O. Olatinwo, and T. H. Joubert, "Deep learning for resource management in Internet of Things networks: A bibliometric analysis and comprehensive review," IEE Access, vol. 10, no. 5, pp. 94691 - 94717, 2022.
21. S.O. Olatinwo, and T. H. Joubert, "A bibliometric analysis and review of resource management in internet of water things: The use of game theory," Water, vol. 14, p. 1636, 2022.
22. J. Bi, Z. Chen, H. Yuan, and J. Zhang, "Accurate water quality prediction with attention-based bidirectional lstm and encoder-decoder," Expert Systems with Applications, p. 121807, 2023.
23. M. Miller, A. Kisiel, D. Cembrowska-Lech, I. Durlik, and T. Miller, "IoT in water quality monitoring—are we really here?," Sensors, vol. 23, p. 960, 2023.
24. H. Chen, J. Yang, X. Fu, Q. Zheng, et al., "Water quality prediction based on lstm and attention mechanism: A case study of the burnett river, Australia," Sustainability, vol. 14, p. 13231, 2022.
25. P. Liu, J. Wang, A.K. Sangaiah, Y. Xie, and X. Yin, "Analysis and prediction of water quality using LSTM deep neural networks in IoT environment," Sustainability, vol. 11, p. 2058, 2019.
26. M. Ladjal, M. Bouamar, Y. Brik, and M. Djerioui, "A decision fusion method based on classification models for water quality monitoring," Environmental Science and Pollution Research, vol. 30, pp. 22532- 22549, 2023.
27. M.I. Khelil, M. Ladjal, Y. Brik, and M.A. Ouali, "Self-organizing mapsbased features selection with deep LSTM and SVM classification approaches for advanced water quality monitoring," International Journal of Intelligent Enginnering & Systems, vol. 15, pp. 90-102, 2022.
28. S. Dilmi, and M. Ladjal, "A novel approach for water quality classification based on the integration of deep learning and feature extraction techniques," Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, vol. 214, p. 104329, 2021.
29. S.Y. Abuzir, and Y.S. Abuzir, "Machine learning for water quality classification," Water Quality Research Journal, vol. 57, pp. 152-164, 2022.

30. M.S.I. Khan, N. Islam, J. Uddin, S. Islam, and M.K. Nasir, "Water quality prediction and classification based on principal component regression and gradient boosting classifier approach," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 34, pp. 4773–4781, 2022.
31. S. Tyagi, B. Sharma, P. Singh, and R. Dobhal, "Water quality assessment in terms of water quality index," *American Journal of Water Resources*, vol. 1, pp. 34–38, 2013.
32. D.D Olatinwo, A.-M. Adnan, H. Gerhard, and M. Hermanus, "IoT-enabled WBAN and machine learning for speech emotion recognition in patients," *Sensors*, vol. 23, no. 6, pp. 1–23, 2023.
33. D.D Olatinwo, A.-M. Adnan, and H. Gerhard, "Energy efficient priority-based hybrid MAC protocol for IoT enabled WBAN systems," *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, no. 12, pp. 13524–13538, 2023.
34. D.D Olatinwo, A.-M. Adnan, and H. Gerhard, "Energy-aware hybrid MAC protocol for IoT enabled WBAN systems," *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 3, pp. 2685–2699, 2021.
35. K. Kumar, and B. Pande, B., "Air pollution prediction with machine learning: A case study of Indian cities," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 20, no. 5, pp. 1–6, 2022.
36. C.D. Muniz, P.G. Nieto, J.A. Fernández, J.M. Torres, and J. Taboada, "Detection of outliers in water quality monitoring samples using functional data analysis in San Esteban estuary (Northern Spain)," *Science of the Total Environment*, vol. 439, pp. 54–61, 2012.
37. I. Rangeti, B. Dzwauro, G.J. Barratt, and F. Otieno, "Validity and errors in water quality data—a review," *Research and Practices in Water Quality*, Durban University of Technology, Durban, South Africa, pp. 92–112, 2015.
38. P.D. Talagala, R.J. Hyndman, C. Leigh, K. Mengersen, and K. Smith-Miles, "A feature-based framework for detecting technical outliers in water-quality data from in situ sensors," *Water Resources Research*, vol. 55, pp. 8547–8568, 2019.

39. G. Carrasco, J.L. Molina, M. Patino-Alonso, M.D.C. Castillo, M.P. Vicente-Galindo, and M.P. Galindo-Villardón, "Water quality evaluation through a multivariate statistical HJ-Biplot approach," *Journal of Hydrology*, vol. 577, p. 123993, 2019.
40. M. Buda, A. Maki, and M.A. Mazurowski, "A systematic study of the class imbalance problem in convolutional neural networks," *Neural Networks*, vol. 106, pp. 249–259, 2018.
41. R. Mohammed, J. Rawashdeh, and M. Abdullah, "Machine learning with oversampling and undersampling techniques: Overview study and experimental results," in *Proc. 2020 11th international conference on information and communication systems (ICICS) IEEE*, 2020, pp. 243–248.
42. S. Hochreiter, and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735-1780, 1997. [33] J.G. Zilly, R.K. Srivastava, J. Koutník, and J. Schmidhuber, "Recurrent highway networks," in *Proc. PMLR 2017 international conference on machine learning*, 2017, pp. 4189-4198.
43. S.M. Lundberg and S.I. Lee, "A unified approach to interpreting model predictions," in *Proc. 2017 31st Conf. Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)*, CA, USA, NIPS, 2017, pp. 1–10.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

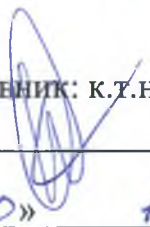
Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-23м
спеціальності 175 – Інформаційно вимірвальні
технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Пастух Є.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІРТС

 Дудатьєв І.А.

(прізвище та ініціали)

«10» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік



Рисунок 1 – Дослідний зразок “1”



Рисунок 2 – Дослідний зразок “2”



Рисунок 3 – Дослідний зразок “3”



Рисунок 4 – Дослідний зразок “4”



Рисунок 5 – Дослідний зразок “5”



Рисунок 6 - Засіб контролю якості води TDS EC



Рисунок 7 - Мультимонітор якості води WALCOM PHT-027



Рисунок 8 - Давач електропровідності - GDX-CON

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Засіб контролю якості питної води»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС. ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 75.0% Схожість 25.0%

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 Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Євгеній ПАСТУХ
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ігор ДУДАТЬЄВ
(прізвище, ініціали)

Додаток В
(довідниковий)

**ФРАГМЕНТ ЛІСТИНГУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.
ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СИГНАЛУ З
КОНДУКТОМЕТРИЧНОГО СЕНСОРА**

```

#include <stdio.h>

// Функція для перетворення значення електропровідності в оцінку якості води
const char* assess_water_quality(float conductivity) {
    if (conductivity < 50.0) {
        return "Вода високої якості (питна вода)";
    } else if (conductivity < 500.0) {
        return "Вода задовільної якості";
    } else if (conductivity < 1000.0) {
        return "Вода низької якості (може бути технічною)";
    } else {
        return "Вода непридатна для використання";
    }
}

int main() {
    float sensor_signal; // Змінна для збереження сигналу від сенсора

    // Імітація отримання сигналу від сенсора
    // У реальному випадку тут використовується АЦП для зчитування значення
    // напруги
    printf("Введіть сигнал від сенсора електропровідності (мкСм/см): ");
    scanf("%f", &sensor_signal);

    // Перевірка допустимості введеного значення
    if (sensor_signal < 0) {
        printf("Помилка: значення електропровідності не може бути від'ємним.\n");
        return 1;
    }

    // Оцінка якості води на основі отриманого сигналу
    const char* quality = assess_water_quality(sensor_signal);

    // Вивід результату
    printf("Електропровідність: %.2f мкСм/см\n", sensor_signal);
    printf("Якість води: %s\n", quality);

    return 0;
}

```