

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет

кібербезпеки

Кафедра

інформаційно-вимірювальних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Метрологічне забезпечення якості води
(тема)

Виконав:

здобувач 2022 року навчання,
групи ЯПППЗ-22-1 Дмитро Гриб
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 152 – Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Якість продукції,
процесів та програмного забезпечення»
(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Козлов Ю.В.
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ІВТ

(підпис)

Ігор Захаров
(власне ім'я, прізвище)

2026 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет кібербезпеки

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Якість продукції, процесів та програмного забезпечення»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

(підпис)

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Грибу Дмитру Григоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метрологічне забезпечення якості води затверджена наказом університету 409 Ст від 20.05.26, зміни до наказу 541 Ст від 01.07.26
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 23 червня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи: об'єкти вимірювання: показники якості питної води

Основні параметри: забарвленість, рН, жорсткість, мікробіологічні показники, органолептичні властивості;

Методики: аналіз нормативної документації (ДСТУ, ISO), лабораторні вимірювання, причинно-наслідковий аналіз, оцінка відповідності гігієнічним нормам;

Апаратне забезпечення: ноутбук LENOVO, ОЗУ 8 Гб, Програмне забезпечення: ОС Windows 10 Pro.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1. Номенклатура показників якості питної води 4.2. Теоретичні основи оцінювання якості води 4.3. Джерела та види забруднень води 4.4. Аналіз нормативної бази щодо питної води в Україні 4.5. Експериментальне дослідження зразків

води з різних джерел 4.6. Побудова бюджету невизначеності вимірювань 4.7. Висновки та рекомендації щодо покращення якості водопостачання.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) 5.1 Назва кваліфікаційної роботи. 5.2 Мета та задачі роботи. 5.3. Результати вимірювання мінералізації зразків води 5.4. Побудова бюджету невизначеності.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану проблеми та методів її вирішення	27.05.2026 – 02.06.2026	
2	Вивчення фізико-хімічних та мікробіологічних показників води	03.06.2026 – 04.06.2026	
3	Проведення лабораторних досліджень зразків води	05.06.2026 – 07.06.2026	
4	Аналіз результатів та побудова бюджету невизначеності	08.06.2026 – 10.06.2026	
5	Написання пояснювальної записки	11.06.2026 – 13.06.2026	
6	Виконання графічної частини	14.06.2026 – 15.06.2026	
7	Представлення закінченої кваліфікаційної роботи на кафедру	20.06.2026	

Дата видачі завдання 23 травня 2026 р.

Здобувач _____

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

доцент Юрій Козлов

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 57 сторінок, 9 таблиць, 4 рисунка, 15 переліків посилань з джерел.

ПИТНА ВОДА, ЯКІСТЬ ВОДИ, ОЧИЩЕННЯ ВОДИ, ХІМІЧНИЙ СКЛАД, МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ, ФІЛЬТРАЦІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ.

Об'єкт дослідження – показники якості питної води.

Мета роботи – вдосконалення системи управління якістю питної води шляхом розробки методів і засобів оцінки якості води.

Методи досліджень – аналіз існуючих стандартів на якість питної води, метод причинно-наслідкових зв'язків, метод комплексної оцінки якості, методи вимірювань параметрів, що контролюються, методи лабораторних випробувань. В ході проведення роботи було здійснено огляд сучасного стану систем водопостачання, аналіз ринку послуг із забезпечення питною водою, розглянуто поняття якості води, вивчено вплив різних факторів на склад води, досліджено сучасні методи очищення та контролю води, проведено аналіз причинно-наслідкових зв'язків показників якості питної води, а також здійснено випробування фізико-хімічних та мікробіологічних властивостей води.

Для оцінки якості досліджуваної питної води були визначені наступні характеристики: хімічний склад, мікробіологічні показники, органолептичні властивості, загальна жорсткість, кислотність (рН) та рівень забруднення домішками. Висновки роботи містять пропозиції щодо вдосконалення системи контролю якості питної води та рекомендації щодо впровадження сучасних методів очищення та моніторингу водопостачання.

ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work contains 57 pages, 9 tables, 4 figures, 15 a list of references from sources.

DRINKING WATER, WATER QUALITY, WATER TREATMENT, CHEMICAL COMPOSITION, MICROBIOLOGICAL INDICATORS, FILTRATION, STANDARDIZATION.

Object of study - indicators of drinking water quality.

Purpose - to improve the drinking water quality management system by developing methods and tools for assessing water quality.

Research methods - analysis of existing standards for drinking water quality, the method of cause and effect, the method of comprehensive quality assessment, methods of measuring the parameters under control, laboratory test methods.

In the course of the work, the current state of water supply systems was reviewed, the market for drinking water services was analyzed, the concept of water quality was considered, the influence of various factors on the composition of water was studied, modern methods of water purification and control were investigated, the cause-and-effect relationships of drinking water quality indicators were analyzed, and the physical, chemical and microbiological properties of water were tested.

To assess the quality of the studied drinking water, the following characteristics were determined: chemical composition, microbiological indicators, organoleptic properties, total hardness, acidity (pH), and the level of contamination with impurities. The conclusions of the study include proposals for improving the drinking water quality control system and recommendations for the implementation of modern methods of water supply treatment.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ	9
1.1 Комплексний підхід до управління водних ресурсів України	9
1.2 Правове регулювання та сфера дії санітарних норм	11
1.3 Огляд законодавчої бази: Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», ДСТУ та міжнародні стандарти (ISO)	17
1.4 Особливості моніторингу якості води в Україні	19
2 МЕТОДИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ	23
2.1 Методологічні підходи до аналізу природних вод	23
2.2 Характеристика сучасних аналітичних приладів і датчиків	26
2.3 Автоматизовані системи моніторингу якості води в режимі реального часу	32
3 АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ В МЕЖАХ м. ХАРКІВ (НА ПРИКЛАДІ ПОКАЗНИКА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ)	36
3.1 Мінералізація води	36
3.2 Аналіз мінералізації зразків води із пункту розливу води у м. Харків	38
3.3 Аналіз мінералізації зразків води з під крану централізованого водопостачання у м. Харків	42
3.4 Аналіз мінералізації зразків води із бювету у м. Харків	45
3.5 Аналіз мінералізації зразків води із скважини розташованої на території гаражного кооперативу у м. Харків	48
3.6 Порівняльна таблиця мінералізації для чотирьох різних джерел питної води у м. Харків	51

3.7 Загальні висновки на основі порівняльного аналізу	52
ВИСНОВКИ	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	56

ВСТУП

Водний простір займає близько 70% поверхні Землі. Поширена думка про безлімітність цього ресурсу є ілюзією. Для підтримки життєдіяльності людей та стабільного стану більшості наземних екосистем придатна лише прісна вода, обсяг якої складає всього 2,53% від загальних світових запасів [15]. Ситуація ускладнюється тим, що майже дві третини цієї кількості заблоковані в льодовиках та сніговому покриві планети, що робить її важкодоступною для безпосереднього використання.

Чистота джерел водопостачання є ключовим фактором, що безпосередньо визначає самопочуття людей і тварин. За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я, чверть жителів планети ризикує постраждати від захворювань, які спричинені вживанням низькоякісної питної води [12]. Забезпечення громадян безпечною водою є фундаментом для високої якості життя та успішного майбутнього будь-якої країни.

Захист водних ресурсів і контроль їхнього стану потребують чіткого метрологічного забезпечення. До його головних завдань належать: оцінка та встановлення необхідного рівня очищення стічних вод, прогнозування змін показників води на перспективу, забезпечення контролюючих органів та лабораторій сучасним вимірювальним обладнанням і актуальною нормативною базою.

Якість води - сукупність її властивостей та хімічного складу, які визначають, чи підходить ця вода для конкретних видів господарської діяльності, споживання або водокористування.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ

1.1 Комплексний підхід до управління водних ресурсів України

Екологічне регулювання водокористування є фундаментом для подолання водних криз у XXI столітті. Оскільки ця проблема має системний та багатовекторний характер [13], її розв'язання неможливе без консолідації зусиль усіх секторів національної економіки, що залучені до споживання та розподілу води.

Гідрологічні запаси України складаються з підземних та поверхневих вод. При цьому вітчизняна інфраструктура критично залежна від відкритих водойм: саме на поверхневі джерела розраховано 75% систем централізованого питного водопостачання.

Важливо усвідомлювати, що за рівнем забезпеченості власними водними ресурсами Україна посідає одне з останніх місць серед європейських держав. Ситуація ускладнюється хронічним браком питної води та колосальним антропогенним тиском на природні акваторії, особливо в густонаселених, посушливих та промислово розвинених областях.

Через загальний економічний спад та кризові явища в аграрному і меліоративному секторах за останні роки загальний обсяг забору води з поверхневих джерел скоротився більш ніж удвічі. Проте внутрішні пропорції споживання суттєво трансформувалися.

Таблиця 1.1 - Внутрішні пропорції споживання

Напрямок використання води	Зниження фізичних обсягів	Зміна частки у загальній структурі
Зрошення земель	Зменшилось на 84%	Скоротилась понад ніж удвічі
Виробничі потреби	Скоротилось на 60%	Зросла в 1,1 раза
Господарсько-питні потреби	Зменшилось на 44,4%	Зросла в 1,5 раза

Зниження кількісних показників водозабору, на жаль, не зменшило якісного навантаження на екосистеми. Поверхневі водойми, особливо поблизу великих індустріальних та аграрних вузлів, продовжують стрімко деградувати, виснажуватись та втрачати свої природні властивості.

Головні чинники екологічної деградації водойм України є комунальний та промисловий сектори, а саме, масове скидання неочищених або погано фільтрованих стічних вод. Ситуація погіршується зношеністю мереж, застарілим обладнанням та регулярними аваріями на каналізаційних системах (зокрема через відключення електроенергії).

Агросектор та урбанізація змиває бруд й хімікати із міських територій та полів, відбувається ерозія ґрунтів на водозабірних площах.

Дренажні води вимивають із землі залишкові пестициди, мінеральні добрива та важкі метали, транспортуючи їх у водоприймачі й забруднюючи як поверхневі пласти, так і підземні горизонти.

1.2 Правове регулювання та сфера дії санітарних норм

Дотримання Державних санітарних норм і правил [1] є безальтернативним обов'язком для всіх без винятку суб'єктів. Цей регламент поширюється на органи державної влади, місцеве самоврядування, приватні та державні підприємства, а також на звичайних громадян, чия діяльність пов'язана з:

- проектуванням, зведенням та безпосередньою експлуатацією комплексів водопостачання;
- виробництвом, розливом та реалізацією питної води;
- проведенням перевірок, моніторингу та контролю у водопровідній галузі.

Цей документ не просто фіксує базові критерії безпеки та якості води для населення, а й чітко прописує механізми внутрішнього лабораторного контролю підприємств та державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

Вода, призначена для пиття та приготування їжі, повинна безкомпромісно відповідати низці жорстких гігієнічних вимог. Кінцевий продукт має бути абсолютно безпечним в епідемічному та радіаційному плані, мати приємні органолептичні властивості (бути прозорим, без сторонніх запахів та присмаків), а також мати збалансований, нешкідливий для організму хімічний склад.

Щоб гарантувати таку безпеку, під час організації виробництва питної води [1] законодавство вимагає віддавати перевагу підземним водоносним горизонтам. Такі надра набагато краще захищені від випадкового або навмисного біологічного, токсичного чи радіоактивного забруднення, ніж поверхневі водойми.

Комплексна санітарно-гігієнічна експертиза питної води базується на аналізі її епідемічної безпеки (що включає перевірку фізико-хімічних та органолептичних параметрів), а також на обов'язковому вимірюванні радіаційних показників.

Таблиця 1.2 - Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води			Методики визначення згідно з додатком 5
			водопровідної	з колодязів та каптажів джерел	фасованої, з пунктів розливу та бюветів	
1	2	3	4	5	6	7
1. Органолептичні показники						
1	Запах: при t 20 °C при t 60 °C	бали	≤ 2 ≤ 2	≤ 3 ≤ 3	$\leq 0 (2)^{-3}$ $\leq 1 (2)^{-3}$	пп. 2, 31
2	Забарвленість	градуси	$\leq 20-35^{-7}$	≤ 35	$\leq 10 (20)^{-3}$	пп. 2, 39

Продовження таблиці 1.2

3	Каламутність	нефелометрична одиниця каламітності (1 НОК = 0,58 мг/л)	$\leq$ 1,0–3,5 ⁻⁷ $\leq$ 2,6–3,5 ⁻⁷ - для підземного вододжерела	$\leq 3,5$	$\leq 0,5$ (1,0) ⁻³	пп. 2, 38
4	Смак і присмак	бали	≤ 2	≤ 3	≤ 0 (2) ⁻³	п. 2
2. Фізико-хімічні показники						
<i>а) неорганічні компоненти</i>						
5	Водневий показник	Одиниці рН	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5 ($\geq 4,5$) ⁻⁴	п. 28

Продовження таблиці 1.2

6	Діоксид вуглецю	%	не визначається	не визначається	0,2-0,3 - для слабогазованої 0,31-0,4 - для середньо-газованої > 0,4 - для сильногазованої	п. 23
7	Залізо загальне	мг/л	$\leq 0,2-1,0^{-7}$	$\leq 1,0$	$\leq 0,2$	пп. 3, 33, 64
8	Загальна жорсткість	ммоль/л	$\leq 7,0-10,0^{-7}$	$\leq 10,0$	$\leq 7,0$	п. 4
9	Загальна лужність	ммоль/л	не визначається	не визначається	$\leq 6,5$	п. 41
10	Йод	мкг/л	не визначається	не визначається	≤ 50	п. 43

Продовження таблиці 1.2

11	Кальцій	мг/л	не визначає ться	не визначає ться	≤ 130	п. 45
12	Магній	мг/л	не визначає ться	не визначає ться	≤ 80	п. 45
13	Марганець	мг/л	$\leq 0,05-0,5$ 7	$\leq 0,5$	$\leq 0,05$	пп. 11, 64
14	Мідь	мг/л	$\leq 1,0$	не визначає ться	$\leq 1,0$	пп. 9, 64
15	Поліфосфа ти (за PO_4^{-3-})	мг/л	$\leq 3,5$	не визначає ться	$\leq 0,6$ $(3,5)^{-3}$	п. 19
16	Сульфати	мг/л	$\leq$ $250-500$ ⁻⁷	≤ 500	≤ 250	п. 10
17	Сухий залишок	мг/л	$\leq$ $1000-150$ 0 ⁻⁷	≤ 1500	≤ 1000	п. 12
18	Хлор залишковий вільний	мг/л	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,05$	п. 14

Продовження таблиці 1.2

19	Хлориди	мг/л	$\leq$ 250-350 ⁻⁷	≤ 350	≤ 250	пп. 7, 44
20	Цинк	мг/л	$\leq 1,0$	не визначає ться	$\leq 1,0$	пп. 15, 64
<i>б) органічні компоненти</i>						
21	Хлор залишковий зв'язаний	мг/л	$\leq 1,2$	$\leq 1,2$	$< 0,05$	п. 14

1.3 Огляд законодавчої бази: Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», ДСТУ та міжнародні стандарти (ISO)

Законодавча база контролю якості води в Україні станом на 2026 рік базується на поєднанні національного законодавства, державних стандартів (ДСТУ) та гармонізації з міжнародними стандартами (ISO/EN), спрямованих на захист життя громадян та екологічний моніторинг.

- «Про метрологію та метрологічну діяльність» [6] (№ 1314-VII): Визначає правові основи єдності вимірювань, забезпечуючи достовірність результатів контролю якості води. Згідно зі статтею 3, контроль якості води (як екологічний, так і питний) входить до сфери законодавчо регульованої метрології.
- «Про питну воду та питне водопостачання» (№ 2918-III): Встановлює загальні вимоги до якості води, безпеки для здоров'я, а також

повноваження органів виконавчої влади та місцевого самоврядування щодо контролю.

- Водний Кодекс України: Регулює відносини у сфері використання водних ресурсів та охорони вод від забруднення.
- «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»: Є основою для гігієнічної оцінки якості води.
- ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»: Основний національний стандарт, що визначає допустимі показники якості питної води (органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні).
- ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної...»: Гігієнічні нормативи, затверджені МОЗ України, що встановлюють вимоги до безпечності води
- Оновлення 2025-2026: Прийнято низку нових стандартів, гармонізованих з європейськими (EN ISO), зокрема щодо відбирання проб, визначення нафтопродуктів та хімічних елементів (наприклад, ДСТУ EN ISO 5667-14:2025).
- Серія ISO 5667: Стандарти щодо відбирання проб води (природної, питної, стічної).
- ISO 14001:2015 (ДСТУ ISO 14001:2015): Стандарт систем екологічного управління, який застосовується для зменшення впливу підприємств на водні ресурси.
- ISO 17025: Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій, що проводять аналіз води.

1.4 Особливості моніторингу якості води в Україні

Вітчизняна система контролю за станом питної води базується на прискіпливому аналізі хімічних та мікробіологічних характеристик і порівнянні отриманих концентрацій із чинними державними нормативами. Сучасні регуляторні вимоги розширюють традиційний фізико-хімічний скринінг (який визначає такі базові параметри, як твердість чи сухий залишок) і зобов'язують профільні лабораторії проводити додаткові тести на наявність конкретних небезпечних речовин та сполук.

У країнах Європи базові підходи до оцінювання і менеджменту водних ресурсів підпорядковані трьом ключовим векторам:

- збереження стабільного екологічного балансу;
- оптимізація та підвищення ефективності використання прісних джерел;
- раціональне врахування економічних чинників.

Водночас деградація акваторій внаслідок техногенного та антропогенного впливу залишається гострою проблемою навіть для високорозвинених держав світу.

Головними каталізаторами зниження безпеки водопровідної води є застарілі технологічні потужності очисних споруд та зношеність розподільчих мереж, які неспроможні гарантувати належний рівень очищення. Відповідно до матеріалів сучасних досліджень [9], в Україні частка аварійних та повністю амортизованих водопровідних комунікацій сягає 33,3%.

Такий незадовільний стан комунікацій безпосередньо корелює з погіршенням здоров'я громадян, зниженням життєвих стандартів та

скороченням тривалості життя населення. На сьогодні у жодному з наявних видів водоспоживання немає джерел питної води, які можна було б назвати абсолютно безпечними для організму людини.

Якість та кількість води в Україні дуже відрізняються географічно. На півдні та сході хронічний дефіцит прісної води, висока мінералізація та твердість підземних вод через природні фактори та надмірне промислове навантаження. Полісся та західні регіони: Краща забезпеченість ресурсами, проте є специфічні проблеми (наприклад, природний надлишок заліза або марганцю у воді).

У сучасних реаліях неможливо аналізувати стан водних ресурсів України без урахування руйнувань останніх років:

- руйнування гідротехнічних споруд: варто згадати про наслідки знищення Каховської ГЕС, пошкодження очисних споруд та водогонів у прифронтових та деокупованих регіонах;
- хімічне та токсичне забруднення: через обстріли промислових об'єктів та потрапляння залишків боєприпасів у водойми фіксується надмірний вміст важких металів, нафтопродуктів та токсичних сполук.

Таблиця 1.3 - Аналіз ризиків споживання води населенням України з різних джерел

Джерела споживання води людиною	Переваги	Потенційні ризики погіршення якості води
Водопровідна вода	Проходить систему очищення та знезараження під час водопідготовки	Забруднення води під час транспортування трубопроводами, яке залежить від їх технічного стану та корозії (іржа, мінералізовані органічні частинки, важкі метали сплавів). Розвиток мікроорганізмів та біоплівки в застійних зонах трубопроводів. Забруднення продуктами знезараження води (поліакриламід, хлор залишковий і вільний, озон та формальдегід)
Джерельна вода масового користування, вода з колодязів та індивідуальних свердловин	Відсутність хімічних домішок та продуктів корозії трубопроводів	Відсутність попереднього очищення та даних про якісні показники води та її хімічний склад. Мікробіологічне забруднення через відсутність знезараження води

Продовження таблиці 1.3

Розливна артезіанська вода з водомерів та машин	Як правило відомий склад води та основні показники якості води. Вода може проходити попереднє очищення	Забруднення води біоплівкою та мікроорганізмами, які розвиваються у цистернах та баках водоматів
Бутильована столова вода	Має відомий склад, зазначений на пакуванні.	Недобросовісність виробника та невідповідність якості, зазначеної на пакуванні. Забруднення води нанопластиком та продуктами розкладу пластикового пакування. Шкода для здоров'я при постійному вживанні столово-лікувальної води одного хімічного складу через надлишок надходження певних мінералів

2 МЕТОДИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ

2.1 Методологічні підходи до аналізу природних вод

Сучасні фізичні, хімічні та фізико-хімічні аналітичні методи мають універсальний характер: інтенсивність вимірюваного сигналу залежить виключно від концентрації досліджуваної речовини, а не від типу матриці зразка, якщо його попередньо переведено у газоподібну або рідку форму. Завдяки цьому однакові методичні підходи застосовують для визначення вмісту хлоридів, кальцію чи нітратів у таких різних об'єктах, як атмосферне повітря, ґрунти або водне середовище [8].

Для опису біологічних, фізичних та хімічних властивостей водних екосистем використовують дві основні групи критеріїв - інтегральні та індивідуальні.

Інтегральні показники якості - ці параметри відображають сукупну присутність груп речовин, які перебувають у воді в розчиненому, завислому чи колоїдно-дисперсному стані [7]. До ключових інтегральних характеристик хімічного складу та фізичного стану вод належать:

- органолептичні та фізичні властивості: прозорість, рівень каламутності, колір, смакові якості та запах;
- електрохімічні характеристики: питома електропровідність, окисно-відновний потенціал (Eh);
- узагальнені хімічні та екологічні критерії: загальний вміст органічного вуглецю, біогенних елементів (сумарна кількість азоту та фосфору), а також показники хімічного (ХСК) та біологічного (БСК) споживання кисню.

Індивідуальні показники якості - ця група відображає вміст конкретних йонів чи молекулярних сполук. Прикладами є концентрація йонів натрію (Na), хлору (Cl), показник рН, сумарна кількість важких металів, окремі класи органічних речовин (зокрема, альдегіди чи кетони), а також валовий вміст різних аніонів одного елемента (наприклад, сульфідів чи фосфатів).

Розподіл показників на індивідуальні та інтегральні є певною мірою умовним, проте він є принциповим з еколого-токсикологічної точки зору. Оскільки нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) розробляються переважно для конкретних молекул та йонів, екологічний контроль природних водойм спирається саме на індивідуальні параметри.

Методи визначення окремих складників води вважаються більш інформативними та точними порівняно з інтегральними підходами [8], оскільки вони базуються на конкретних фізико-хімічних чи хімічних реакціях. Інтегральні характеристики мають лише оціночний (відносний) характер і не дозволяють встановити точну концентрацію конкретної речовини. Через це фінальні висновки щодо якості водного середовища роблять на основі аналізу індивідуальних компонентів.

Досить перспективним напрямом вивчення стану поверхневих вод вважається біоіндикація (оцінка за станом мікроорганізмів та вищої водної рослинності) [9]. Популярність цих методів зумовлена їхньою економічною вигідністю, простотою виконання та низькими витратами часу, при цьому отримані результати демонструють високий рівень кореляції з даними класичних хімічних та фізико-хімічних досліджень.

Основний масив хімічних аналізів виконується в умовах стаціонарних гідрохімічних лабораторій [7]. Проте через хімічну нестабільність багатьох компонентів деякі вимірювання необхідно проводити безпосередньо на місці відбору проби, використовуючи свіжу воду.

Під час польових робіт і взяття проб із поверхневих шарів (на глибині до 0,2–0,5 м) обов'язково дотримуються такої послідовності дій [7]:

- первинна фіксація: визначають температуру води, її колір та прозорість;
- забір основного об'єму: за допомогою батометра або емальованого відра (які попередньо двічі чи тричі ополіскують досліджуваною водою) відбирають приблизно 5 дм³ води;
- експрес-аналіз нестабільних компонентів: безпосередньо на місці вимірюють рівень рН, вміст діоксиду вуглецю, оцінюють запах, а також фіксують або визначають концентрацію розчиненого кисню (прямим потенціометричним методом);
- розподіл та консервація: наповнюють інші місткості відповідно до затвердженої програми спостережень. Проби для аналізу специфічних забруднювачів (важких металів, нафтопродуктів, пестицидів, синтетичних поверхнево-активних речовин тощо) збирають в окремий скляний посуд і консервують за відповідними методиками. Посуд із пробами на головні йони та біогенні речовини герметично закривають, обов'язково зазначаючи спосіб консервації;
- реєстрація даних: усі результати та умови роботи заносять до польового журналу.

У польовому журналі, окрім результатів безпосередніх вимірювань, фіксують:

- перелік і характеристики використаних хімічних консервантів;
- поточні метеорологічні умови під час відбору;
- опис візуального стану водойми (наявність сміття, замутнення, поверхневої плівки чи ознак цвітіння води);
- будь-які вимушені зміни у стандартній методиці аналізу із зазначенням причин таких відхилень.

Комплексна оцінка якісного стану водних об'єктів проводиться для визначення поточного рівня їхнього забруднення, а також для прогнозування придатності води для різних видів господарського використання [9]. На тлі постійного зростання антропогенного тиску на біосферу точний контроль якості природних вод набуває стратегічного значення для економіки та екологічної безпеки.

2.2 Характеристика сучасних аналітичних приладів і датчиків

Для отримання високоточних аналітичних даних у сфері гідрохімічного моніторингу використовують спеціалізовані вимірювальні пристрої - кондуктометри [11].

Теоретична основа кондуктометричного аналізу полягає у визначенні динаміки концентрації розчинених у рідкому середовищі речовин або хімічних сполук. Ключовою особливістю цього методу є те, що він не пов'язаний із вимірюванням електродного потенціалу, оскільки значення останнього під час аналізу зазвичай залишається близьким до стану термодинамічної рівноваги.

Функціонування кондуктометричних приладів [8] базується на фіксації зазначених змін шляхом відстеження прямої залежності між електропровідністю досліджуваного розчину та його хімічним складом.

Іншими словами, головна мета застосування цього обладнання - кількісно оцінити здатність вільних йонів переносити електричний заряд під дією зовнішнього поля.

Завдяки технологічному вдосконаленню сучасних кондуктометрів, процедура аналізу є максимально спрощеною та складається з трьох послідовних кроків:

- занурення датчика: два інтегровані вимірювальні електроди опускають у досліджуване рідке середовище;

- подача потенціалу: на первинні електроди подається напруга з чітко відомими параметрами;
- реєстрація та конвертація сигналу: прилад вимірює силу струму, що проходить через шар рідини, автоматично обчислює значення провідності та виводить фінальний результат на цифровий екран пристрою.

Оскільки на кінетику руху йонів та загальну електропровідність суттєво впливає температурний фактор, обов'язковою та дуже важливою характеристикою якісного сучасного обладнання є наявність функції автоматичної температурної компенсації (термокомпенсації). Це дозволяє звести до мінімуму похибки вимірювань у польових чи лабораторних умовах.



Рисунок 2.1 - Кондуктометр лабораторний MP513 [4]

Серед головних переваг використання кондуктометричних пристроїв у дослідницькій та виробничій практиці виділяють:

- високу аналітичну точність: забезпечення мінімальної похибки під час визначення концентрації розчинених речовин в однокомпонентних розчинах;

- оперативність експрес-аналізу: можливість здійснення швидкого контролю параметрів водної матриці в умовах хіміко-аналітичних лабораторій та аптечних установ;
- технологічний моніторинг: ефективний контроль ступеня очищення та якості живильної води, що використовується для промислових котлів і теплоенергетичних систем.

pH-метри - це сучасні цифрові прилади, розроблені для точного вимірювання водневого показника, який відображає рівень кислотності або лужності досліджуваного об'єкта. Особливістю цих пристроїв є їхня універсальність: вони здатні аналізувати середовища різного агрегатного стану та консистенції - від рідких фаз (природні та стічні води, технологічні розчини) до в'язких чи м'яких структур (грунти, суспензії, харчова продукція). Отримані дані дозволяють чітко диференціювати середовище на кисле, нейтральне або лужне відповідно до стандартної вимірювальної шкали.

Завдяки своїй високій інформативності та надійності, pH-метри є незамінним інструментом у багатьох галузях. Як зазначено у науковій літературі [8], цей вид вимірювальної техніки має критично важливе значення для таких сфер:

- харчова промисловість - для контролю технологічних процесів, параметрів сировини та готових продуктів;
- фармацевтична галузь - під час створення та стандартизації лікарських засобів;
- сільське та рибне господарство - для моніторингу екологічного стану водойм (аквакультури) та аналізу характеристик ґрунтів;
- косметологія - при розробці та тестуванні засобів догляду;
- медицина - у межах лабораторної діагностики та клінічних досліджень.



Рисунок 2.2 - Професійний РН-метр Xintest HT-1202
(для води, виносний електрод)

Традиційне визначення водневого показника в лабораторних умовах супроводжується певними труднощами: воно вимагає обов'язкового відбору зразків (водного середовища чи ґрунту), їх транспортування до місця аналізу та тривалого очікування результатів. Цей підхід є часомістким і фінансово витратним, оскільки належне калібрування, налаштування та грамотна експлуатація стаціонарних лабораторних рН-метрів є технологічно складними процесами.

Для підвищення ефективності досліджень більшість сучасних модифікацій рН-метрів інтегруються з додатковими вимірювальними датчиками. Це дозволяє здійснювати експресний комплексний моніторинг стану води та ґрунту, фіксуючи одночасно кілька критично важливих параметрів:

- окисно-відновний потенціал (ОВП);
- питому електропровідність;
- рівень солоності (мінералізації).

Одним із базових критеріїв чистоти та оптичних властивостей води є її прозорість, або рівень каламутності. Цей показник безпосередньо

залежить від наявності у водному об'єкті дрібнодисперсних домішок, які перешкоджають вільному проходженню світла. Для кількісної оцінки цього параметра використовують спеціалізовані аналітичні прилади — мутноміри (турбідиметри).

Згідно з науковими критеріями [7], каламутність віддзеркалює ступінь втрати розчином або водою первинної прозорості. Зміна цього параметра зумовлена концентрацією завислих речовин різного генезису, серед яких найчастіше фігурують частинки глини, мулу, мікроорганізми, залишки рослинної біомаси, а також фракції нафтопродуктів. Зростання концентрації таких компонентів пропорційно знижує прозорість досліджуваної рідкої матриці.

Систематичний моніторинг рівня каламутності є обов'язковим етапом екологічного та технологічного контролю з кількох причин:

- епідемічна безпека питного водопостачання: підвищена каламутність часто слугує непрямим індикатором присутності патогенних мікроорганізмів, які є потенційно небезпечними для здоров'я населення;
- стабільність природних гідроекосистем: каламутна вода має низьку світлопроникність, що пригнічує процеси фотосинтезу вищої водної рослинності та водоростей, порушує природний баланс водойм і негативно впливає на життєві цикли риб та інших гідробіонтів;
- оптимізація промислових технологій: у багатьох секторах промисловості високий рівень каламутності технологічної води суттєво погіршує результативність та якість перебігу основних виробничих операцій.



Рисунок 2.3 - TDS&EC-метр

Застосування TDS-метрів дозволяє забезпечити високу точність та оперативність [3] під час визначення сумарного рівня мінералізації (загального вмісту розчинених твердих речовин) у водному середовищі. В основі роботи цього типу обладнання лежить фіксація параметрів питомої електропровідності розчину.

Завдяки ергономічній конструкції та інтуїтивно зрозумілій структурі керування, сучасні солеміри є максимально зручними для експлуатації як кваліфікованими лабораторними фахівцями, так і користувачами без спеціальної підготовки.

Широке впровадження TDS-метрів у дослідницьку та господарську практику зумовлене низкою їхніх суттєвих переваг:

- комплексний моніторинг якісного стану води: прилади допомагають оперативно оцінити загальний ступінь забрудненості або насиченості водної матриці солями, що дозволяє зробити висновок про її придатність для питного водопостачання;

- технологічне керування в гідропоніці та аквапоніці: пристрої відіграють критично важливу роль у прецизійному контролі концентрації мінеральних елементів у поживних розчинах, забезпечуючи створення оптимальних умов для росту та розвитку рослин у штучних закритих системах;
- підтримка життєдіяльності гідробіонтів і флори: оскільки акваріумні риби та специфічні рослинні культури потребують суворо визначеного сольового балансу, застосування солеміра допомагає підтримувати стабільне й екологічно безпечне середовище для їхнього здорового розвитку;
- ергономічність та висока швидкість вимірювань: наявність простого цифрового інтерфейсу дозволяє здійснювати аналітичні маніпуляції та отримувати готові результати за лічені секунди;
- мобільність (портативність): компактні габарити та мінімальна вага приладів роблять їх ідеальним інструментом для транспортування та проведення експрес-аналізу безпосередньо на об'єктах дослідження або в польових умовах.

2.3 Автоматизовані системи моніторингу якості води в режимі реального часу

Антропогенне та природне забруднення гідросфери зумовлює серйозні екологічні, соціальні та фінансово-економічні загрози, що актуалізує потребу в оптимізації контрольних заходів [9]. Постійний моніторинг водного середовища є базовим елементом підтримання екологічного балансу, гарантування безпеки питного водопостачання та оперативного блокування поширення токсикантів. Проте класичні методи, що спираються на дискретний відбір проб із подальшим транспортуванням до лабораторії, мають високу трудомісткість, суттєві матеріальні витрати

та неспроможні забезпечити безперервне отримання даних, унеможливлюючи миттєве реагування на надзвичайні ситуації.

Більшість наявних на сьогодні комплексів екологічного моніторингу [8] орієнтовані на традиційні хімічні методи. Незважаючи на високі показники точності, такий підхід супроводжується низкою критичних обмежень:

- суттєві фінансові витрати: висока ринкова вартість сучасного аналітичного інструментарію та витратних хімреагентів лімітує масштаби розгортання спостережних мереж;
- організаційна складність: процедури відбору, консервації та логістики проб до аналітичних центрів вимагають значних часових і людських ресурсів;
- ефект запізнення інформації: через тривалість лабораторних маніпуляцій кінцеві результати надходять із суттєвим запізненням, втрачаючи актуальність для експрес-оцінки;
- просторові обмеження: організація повноцінного моніторингу у важкодоступних або віддалених географічних зонах є ускладненою, що заважає безперервному контролю в реальному часі.

Вирішення зазначених проблем стало можливим завдяки розвитку спектроскопічних технологій, які відкрили шлях до створення безперервних автоматизованих комплексів моніторингу гідродинамічних об'єктів. Застосування компактних, енергоефективних та фінансово доступних модулів дозволяє організувати експресний і достовірний аналіз без використання будь-яких хімічних реагентів чи індикаторів.

Спектроскопія розглядається як один із найбільш прогресивних інструментів [3] у сфері водного екомоніторингу, оскільки забезпечує визначення фізико-хімічних параметрів середовища через реєстрацію його оптичних характеристик. Метод базується на ідентифікації полютантів за

їхніми унікальними спектральними профілями у видимому та інфрачервоному областях спектра. Поєднання оптичних спектроскопічних датчиків із сучасними мікроконтролерами дозволяє створювати автономні, високомобільні та точні вимірювальні платформи.

Основними перевагами цього науково-технічного підходу є:

- безреагентний аналіз: повна відсутність потреби у хімічних реактивах під час вимірювання, що знижує собівартість та виключає вторинне забруднення;
- висока часова роздільна здатність: миттєва генерація аналітичного сигналу та висока швидкість обробки даних;
- мультикомпонентність: здатність одночасно детектувати широкий спектр забруднювачів різної природи;
- дистанційне керування: можливість інтеграції в бездротові мережі для віддаленого збору інформації без присутності оператора.

Прикладом високоефективних сучасних рішень є спектроскопічні сенсори серії AS7265x, які здійснюють вимірювання у видимому (VIS) та ближньому інфрачервоному (NIR) спектральних діапазонах, що гарантує надійне детектування сторонніх домішок у воді. Синхронізація роботи таких сенсорів із передовими мікроконтролерами (наприклад, архітектури ESP32) забезпечує створення ультракомпактних, енергоефективних та мобільних систем для безперервного автономного моніторингу поверхневих і технологічних вод.

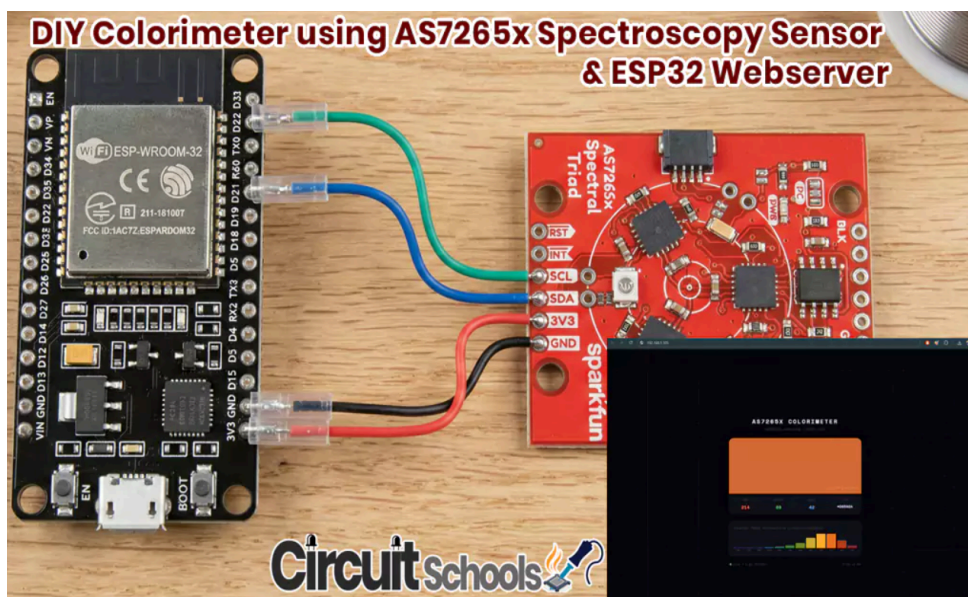


Рисунок 2.4 - спектроскопічний сенсор AS7265x з мікроконтролерною платформою ESP32

Поряд із спектроскопією в інфрачервоному та видимому діапазонах, важливим напрямком експрес-контролю якості води є колориметричний аналіз, який ґрунтується на зміні інтенсивності забарвлення розчину при взаємодії з певним реагентом. На відміну від прямих фізичних методів (кондуктометрія, TDS-метрія), колориметрія дозволяє селективно визначати концентрації окремих забруднювачів (залізо, мідь, нітрити, фосфати), що часто є критичним для оцінки відповідності води вимогам ДСанПіН. Як зазначають автори роботи [14], сучасні колориметричні методики, завдяки цифровій обробці сигналу та використанню світлодіодних джерел, демонструють високу чутливість (до 0,01 мг/л) і можуть бути реалізовані у вигляді портативних лабораторних комплексів, що є перспективним для моніторингу води у польових умовах та при проведенні щоденного контролю на пунктах розливу або бюветах. Таким чином, інтеграція колориметричних сенсорів у загальну систему метрологічного забезпечення поряд з кондуктометрами та рН-метрами дозволяє суттєво підвищити інформативність аналізу.

3 АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ В МЕЖАХ м. ХАРКІВ (НА ПРИКЛАДІ ПОКАЗНИКА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ)

3.1 Мінералізація води

Мінералізація - це сумарний вміст [10] усіх розчинених у воді мінеральних речовин (переважно солей та йонів). Цей показник визначає якість питної, технічної та мінеральної води, вимірюється у міліграмах на літр (мг/л) або грамах на літр (г/л) і контролюється за допомогою спеціальних TDS-метрів.

Загальна мінералізація води [1] має нормативне значення 1000-1500 мг/дм.куб. Перевірити лабораторно воду на мінералізацію означає дізнатись концентрацію розчинених в ній речовин, переважно мінеральних солей. Нормами не визначена нижня межа мінералізації води, але це не означає, що можна пити дистильовану воду. Вчені не висловлюють чіткої думки щодо шкідливості вживання демінералізованої води, однак фізіологи наполягають на необхідності вживання води з бодай мінімальним (200 мг/дм.куб) рівнем мінералізації. Фізіологічно оптимальним є значення загальної мінералізації 200-500 мг/дм.куб [7]. Вода з рівнем мінералізації 100-200 мг/дм.куб. вважається умовно питною. Вода з мінералізацією менше 100 мг/дм.куб не рекомендована для щоденного вживання. Вода у якої мінералізація вище 1000 мг/дм.куб має солоний або гірко-солоний присмак.

У межах даного розділу проведено практичне дослідження показника мінералізації зразків питної води, відібраних із різних джерел у м. Харків. Аналіз охоплює воду з пункту розливу води, з під крану централізованого водопостачання, воду із бювета, а також із скважини розташованої на території гаражного кооперативу.

Спрямованість цього дослідження полягає у кількісному визначенні показників загальної мінералізації в аналізованих пробах води, а також у проведенні порівняльного аналізу цих параметрів із чинними санітарно-гігієнічними регламентами та нормативами для питного водопостачання.

3.2 Аналіз мінералізації зразків води із пункту розливу води у м. Харків

Для аналізу мінералізації із пункту розливу води було зроблено 20 вимірювань

Таблиця 3.1 - Результати вимірювань із пункту розливу води

№ Вимірювання	Мінералізація, мг/л
1	302
2	304
3	297
4	302
5	302
6	303
7	305
8	301
9	309
10	304
11	301
12	302
13	301
14	303
15	303
16	302

Продовження таблиці 3.1

17	304
18	305
19	304
20	302

3.2.1 Розрахував стандартне відхилення

$$S = 2,31 \text{ мг/л}$$

3.2.2 Розрахував стандартну невизначеність типу А (U_a)

$$U_a = 0,52 \text{ мг/л}$$

3.2.3 Розрахував розширену невизначеність при коефіцієнті охоплення ($k=2$) для 95%

$$U = 1,03 \text{ мг/л}$$

3.2.4 Розрахував джерело невизначеності типу В (точність приладу)

$$U_{B1} = 0,58 \text{ мг/л}$$

3.2.5 Розрахував джерело невизначеності типу В (калібрування)

$$U_{B2} = 0,35 \text{ мг/л}$$

3.2.6 Розрахував джерело невизначеності типу В (температурна похибка)

$$U_{B3} = 0,23 \text{ мг/л}$$

3.2.7 Розрахував комбіновану стандартна невизначеність за типом В

$$U_B = 0,71 \text{ мг/л}$$

3.2.8 Розрахував загальну невизначеність

$$U_C = 0,88 \text{ мг/л}$$

3.2.9 Розрахував розширену невизначеність

$$U = 1,76 \text{ мг/л}$$

Стандартне відхилення $S = 2,31$ мг/л, що свідчить про дуже низький рівень випадкового розкиду значень та чудову повторюваність умов експерименту.

Проведено 20 експериментальних вимірювань мінералізації води із пункту розливу, результати яких варіюються від 297 до 309 мг/л. Це свідчить про високу якість підготовки та однорідність мінерального профілю партії води. Показники загального солевмісту ідеально відповідають критеріям фізіологічної повноцінності [1; 10] питної води (200–500 мг/л) та з великим запасом вкладаються в граничні нормативи ДСанПіН.

Таблиця 3.2 - Бюджет невизначеності

Джерело невизначеності	Тип оцінки	Значення похибки (Δi), мг/л	Закон розподілу	Коефіцієнт ділення	Стандартна невизначеність (u_i), мг/л	Внесок у загальну дисперсію (u_i^2/u_c^2), %
Випадкові фактори (повторюваність вимірювань, U_a)	A	—	Нормальний	$n=20$	0,9	61,50%
Точність вимірювального приладу (U_{B1})	B	1	Прямокутний	3	0,58	25,30%
Похибка калібрування приладу (U_{B2})	B	0,6	Прямокутний	3	0,35	9,10%
Температурна похибка (U_{B3})	B	0,4	Прямокутний	3	0,23	4,10%
Сумарна комбінована невизначеність (U_c)	—	—	—	—	1,15	100%
Розширена невизначеність ($U, k=2$)	—	—	Нормальний (P=95%)	$k=2$	2,3	—

3.3 Аналіз мінералізації зразків води з під крану централізованого водопостачання у м. Харків

Для аналізу мінералізації зразків води з під крану було зроблено 20 вимірювань

Таблиця 3.3 - Результати вимірювань води з під крану

№ Вимірювання	Мінералізація, мг/л
1	450
2	452
3	450
4	452
5	458
6	457
7	471
8	462
9	459
10	458
11	472
12	457
13	469
14	469
15	471
16	466

Продовження таблиці 3.2

17	467
18	470
19	481
20	482

3.3.1 Розрахував стандартне відхилення

$$S = 9,60 \text{ мг/л}$$

3.3.2 Розрахував стандартну невизначеність типу А (U_a)

$$U_a = 2,15 \text{ мг/л}$$

3.3.3 Розрахував розширену невизначеність при коефіцієнті охоплення ($k=2$) для 95%

$$U = 4,29 \text{ мг/л}$$

3.3.4 Розрахував джерело невизначеності типу В (точність приладу)

$$U_{B1} = 0,58 \text{ мг/л}$$

3.3.5 Розрахував джерело невизначеності типу В (калібрування)

$$U_{B2} = 0,35 \text{ мг/л}$$

3.3.6 Розрахував джерело невизначеності типу В (температурна похибка)

$$U_{B3} = 0,23 \text{ мг/л}$$

3.3.7 Розрахував комбіновану стандартна невизначеність за типом В

$$U_B = 0,71 \text{ мг/л}$$

3.3.8 Розрахував загальну невизначеність

$$U_C = 2,26 \text{ мг/л}$$

3.3.9 Розрахував розширену невизначеність

$$U = 4,52 \text{ мг/л}$$

Стандартне відхилення $S = 9,60$ мг/л, що свідчить про помірне випадкове розсіювання отриманих значень навколо середнього арифметичного (463,65 мг/л). Це вказує на належну повторюваність результатів вимірювань у межах інструментальних можливостей методу.

Проведено 20 експериментальних вимірювань мінералізації води з під крану, результати яких варіюються від 450 до 482 мг/л. Це свідчить про високу стабільність хімічного складу досліджуваної води. Отримані показники загального солевмісту ідеально вкладаються в межі фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води (оптимальний рівень — 200–500 мг/л) [7] і повністю задовольняють вимоги ДСанПіН (норма до 1000 мг/л).

3.4 Аналіз мінералізації зразків води із бювету у м. Харків

Для аналізу мінералізації зразків води із бювету було зроблено 20 вимірювань

Таблиця 3.4 - Результати вимірювань води із бювету

№ Вимірювання	Мінералізація, мг/л
1	36
2	35
3	36
4	37
5	36
6	33
7	36
8	35
9	36
10	36
11	36
12	36
13	35
14	36
15	36
16	37
17	37

Продовження таблиці 3.3

18	36
19	36
20	37

3.4.1 Розрахував стандартне відхилення

$$S = 0,91 \text{ мг/л}$$

3.4.2 Розрахував стандартну невизначеність типу А (U_A)

$$U_A = 0,20 \text{ мг/л}$$

3.4.3 Розрахував розширену невизначеність при коефіцієнті охоплення ($k=2$) для 95%

$$U = 0,41 \text{ мг/л}$$

3.4.4 Розрахував джерело невизначеності типу В (точність приладу)

$$U_{B1} = 0,58 \text{ мг/л}$$

3.4.5 Розрахував джерело невизначеності типу В (калібрування)

$$U_{B2} = 0,35 \text{ мг/л}$$

3.4.6 Розрахував джерело невизначеності типу В (температурна похибка)

$$U_{B3} = 0,23 \text{ мг/л}$$

3.4.7 Розрахував комбіновану стандартна невизначеність за типом В

$$U_B = 0,71 \text{ мг/л}$$

3.4.8 Розрахував загальну невизначеність

$$U_C = 0,74 \text{ мг/л}$$

3.4.9 Розрахував розширену невизначеність

$$U = 1,48 \text{ мг/л}$$

Стандартне відхилення $S = 0,91 \text{ мг/л}$, що свідчить про надзвичайно високу збіжність результатів паралельних вимірювань. Розкид значень є

мінімальним, що вказує на відмінну повторюваність аналізу та однорідність контрольованих характеристик середовища.

Проведено 20 експериментальних вимірювань мінералізації води із бювету, результати яких варіюються від 33 до 37 мг/л. Це свідчить про дуже низький загальний солевміст досліджуваної води (м'яка вода зі слабкою мінералізацією). Даний показник повністю задовольняє вимоги санітарних норм (ДСанПіН допускає верхню межу [1; 10] солевмісту питної води до 1000 мг/л), проте зауважимо, що вода має ультрапрісний характер.

3.5 Аналіз мінералізації зразків води із скважини розташованої на території гаражного кооперативу у м. Харків

Для аналізу мінералізації зразків води із скважини було зроблено 20 вимірювань

Таблиця 3.5 - Результати вимірювань води із скважини

№ Вимірювання	Мінералізація, мг/л
1	521
2	547
3	542
4	551
5	548
6	560
7	558
8	561
9	559
10	564
11	558
12	555
13	562
14	564
15	571
16	560

Продовження таблиці 3.4

17	562
18	571
19	570
20	563

3.5.1 Розрахував стандартне відхилення

$$S = 11,53 \text{ мг/л}$$

3.5.2 Розрахував стандартну невизначеність типу А (U_a)

$$U_a = 2,58 \text{ мг/л}$$

3.5.3 Розрахував розширену невизначеність при коефіцієнті охоплення ($k=2$) для 95%

$$U = 5,16 \text{ мг/л}$$

3.5.4 Розрахував джерело невизначеності типу В (точність приладу)

$$U_{B1} = 0,58 \text{ мг/л}$$

3.5.5 Розрахував джерело невизначеності типу В (калібрування)

$$U_{B2} = 0,35 \text{ мг/л}$$

3.5.6 Розрахував джерело невизначеності типу В (температурна похибка)

$$U_{B3} = 0,23 \text{ мг/л}$$

3.5.7 Розрахував комбіновану стандартна невизначеність за типом В

$$U_B = 0,71 \text{ мг/л}$$

3.5.8 Розрахував загальну невизначеність

$$U_C = 2,67 \text{ мг/л}$$

3.5.9 Розрахував розширену невизначеність

$$U = 5,35 \text{ мг/л}$$

Середня мінералізація підземної води зі свердловини становить 557,35 мг/л. Значення стандартного відхилення $S = 11,53$ мг/л вказує на помітне випадкове розсіювання, зумовлене природною нестабільністю хімічного складу водоносного горизонту та гіддинамічними чинниками.

Кінцевий результат вимірювання становить $557,35 \pm 5,35$ мг/л ($k=2$, $P=95\%$). Вода повністю придатна для використання, але знаходиться на верхній межі фізіологічного оптимуму.

3.6 Порівняльна таблиця мінералізації для чотирьох різних джерел питної води у м. Харків

Таблиця 3.6 - Порівняльна таблиця мінералізації зразків питної води

Джерело води (Зразок)	Експериментальний діапазон (мг/л)	Середнє значення (X), мг/л	Стандартне відхилення (S), мг/л	Сумарна стандартна невизначеність (Uc), мг/л	Кінцевий метрологічний результат (X±U), мг/л	Класифікація та відповідність нормам ДСанПіН
1. Пункт розливу води	297 – 309	302,80	2,31	0,88	302,80 ± 1,76	Фізіологічно повноцінна
2. Вода з-під крану	450 – 482	463,65	9,60	2,26	463,65 ± 4,52	Фізіологічно повноцінна
3. Вода із бювету	33 – 37	35,90	0,91	0,74	35,90 ± 1,48	Ультрапрісна
4. Вода із свердловини	521 – 571	557,35	11,53	2,67	557,35 ± 5,35	Придатна питна вода

«Складено автором на основі власних досліджень та [1; 7; 10]»

3.7 Загальні висновки на основі порівняльного аналізу

На основі порівняльної таблиці, яка охоплює чотири зразки питної води з різних джерел, можна зробити такі висновки:

1. Відповідність державним санітарним нормам:

- усі чотири досліджувані зразки води в м. Харків за показником загальної мінералізації повністю відповідають вимогам санітарного законодавства [1; 10] України (ДСанПіН допускає верхню межу солевмісту для питної води до 1000–1500 мг/л). Жодне джерело не демонструє надмірного солевмісту, здатного викликати солоний або гіркий присмак.

2. Групування за критерієм фізіологічної повноцінності:

- оптимальний мінеральний баланс: Найбільш якісними та корисними для щоденного вживання є вода з пункту розливу (302,80 мг/л) та вода з-під крану (463,65 мг/л). Їхні показники солевмісту перебувають у межах рекомендованого фізіологами [7] оптимуму (200...500 мг/л), що гарантує надходження необхідних макро- і мікроелементів в організм людини;
- підвищена мінералізація: Вода зі свердловини (557,35 мг/л) трохи виходить за межі оптимального фізіологічного стандарту (500 мг/л), оскільки збагачена підземними мінералами пластів. Вона є цілком безпечною та придатною для пиття, але може залишати значний накип при кип'ятінні;
- мінеральне виснаження (ультрапрісна вода): Вода з бювету демонструє критично низький рівень мінералізації (35,90 мг/л).

Згідно з медико-фізіологічними вимогами, солевміст нижче 100 мг/л не рекомендований для регулярного щоденного вживання, оскільки така демінералізована вода здатна вимивати власні солі та мінерали з тканин організму;

3. Аналіз технологічної та природної стабільності джерел:

- найменше випадкове розсіювання результатів зафіксовано у води з бювету ($S = 0,91$ мг/л) та пункту розливу ($S = 2,31$ мг/л), що свідчить про високу однорідність середовища та ефективність роботи систем фільтрації чи стабільність джерела;
- найвищі коливання показників спостерігаються у водопровідної води ($S = 9,60$ мг/л) та води зі свердловини ($S = 11,53$ мг/л). Це закономірно пояснюється впливом природних гідродинамічних чинників у водоносних горизонтах землі та коливаннями режимів роботи міської комунальної мережі.

4. Достовірність метрологічної оцінки:

- Використаний метод вимірювання за допомогою кондуктометрії (TDS-метрії) [8; 11] продемонстрував високу точність та надійність. Інструментальні похибки приладу, температурні коливання та похибки калібрування (невизначеність типу В) для всіх серій експериментів є стабільними ($U_v = 0,71$ мг/л). Загальна розширена невизначеність результатів не перевищує допустимих меж, що підтверджує наукову обґрунтованість проведеного моніторингу якості води в Харкові.

ВИСНОВКИ

Обґрунтовано критичну важливість метрологічного забезпечення у сфері екологічного моніторингу та контролю якості води. Доведено, що в умовах значного техногенного й антропогенного навантаження на водні ресурси України, навіть незначна похибка вимірювань (на 1–2%) може призвести до хибних оцінок безпечності питної води або стати причиною локальних екологічних катастроф. Метрологічний контроль визначено як базовий інструмент для забезпечення достовірності, точності та порівнюваності результатів фізико-хімічних аналізів.

Проаналізовано сучасний стан водних об'єктів та нормативну базу України. Встановлено, що чинна нормативно-правова база (зокрема Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», ДСТУ 7525:2014 та ДСанПіН 2.2.4-171-10) чітко відносить контроль якості води до законодавчо регульованої сфери метрології. Також відзначено активний процес гармонізації національних стандартів із міжнародними вимогами (ISO/EN) у період 2025–2026 років.

Систематизовано методи та технічні засоби вимірювань. Визначено особливості застосування сучасних інструментальних засобів: кондуктометрів, рН-метрів, аналізаторів каламутності (мутномірів) та TDS-метрів. Обґрунтовано високу перспективність впровадження безреагентних автоматизованих систем моніторингу в режимі реального часу на основі спектроскопічних сенсорів (наприклад, AS7265x) та мікроконтролерних платформ (ESP32), які дозволяють оперативно виявляти забруднення у важкодоступних регіонах без значних часових і фінансових витрат.

Проведено практичний експериментальний аналіз мінералізації питної води в м. Харків. За результатами 20 паралельних вимірювань для

чотирьох різних джерел встановлено метрологічні та гігієнічні параметри. Усі досліджені зразки за показником загальної мінералізації повністю вклалися в граничні нормативи ДСанПіН (до 1000–1500 мг/л). Висока повторюваність експерименту підтверджена розрахунками стандартного відхилення та бюджету невизначеності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною": Наказ Міністерства охорони здоров'я від 16.07.2010 - Офіційний вісник України. 2010 р., № 51, стор. 99.
2. Забезпечення єдності вимірювань: навчальний посібник. Частина 1 / Ю.Ф. Павленко, І. П. Захаров. – Харків: ТОВ «Оберіг», 2023. – 172 с.
3. Аналіз показників якості води. Науково-практичний журнал. URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2024/3/12.pdf>
4. STUDFILES. файловий архів студентів. URL: <https://researcheurope.org/references/>
5. Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології: Підручник. — К.: Видавничий центр "Академія", 2006. — 368 с. (Альма-матер)
6. Про метрологію та метрологічну діяльність: Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII Офіційний вісник України від 15.07.2014 — 2014 р., № 54, стор. 11.
7. Хімічний аналіз та оцінка якості природних вод : навч. посіб. / В. К. Хільчевський, М. Р. Забокрицька. – Луцьк : Вежа-Друк, 2021. – 76 с.
8. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: підруч. / Г. І. Гринь, В. І. Мохонько, О. В. Суворін та ін. – Сєвєродонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. – 420 с., 126 рис., 67 табл., бібліограф. 132 назв.
9. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2 : Методи очищення стічних вод / [Петрук В. Г., Северин Л. І.,

Васильківський І. В., Безвозюк І. І.] – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 258 с.

10. СанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною.
11. Метрологічне забезпечення фізико-хімічних вимірювань: навчально методичний посібник до практичних робіт для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / [Упоряд.: В.В. Тичков, В.Я. Гальченко, Р.В. Трембовецька]; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т – Черкаси: ЧДТУ, 2021. – 253 с.
12. Фізичні, хімічні та біологічні показники якості води: Методичні вказівки до проведення практичних занять зі студентами біолого-технологічного факультету та факультету ветеринарної медицини / В.В. Малина, В.П. Лясота, В.А. Гришко – Біла Церква, 2014.– 45 с.
13. Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посіб. / А.І. Томільцева, А.В. Яцик, В.Б. Мокін та ін. – К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 200 с.
14. Хорошайло Ю.Є, Дегтярьов О. В. та ін. Дослідження можливостей використання колориметрії в медицині // Метрологія та прилади. – 2024. – № 2. – С. 32–38. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2663-9564.2024.2.07>
15. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (повний звіт за результатами проекту). / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021, 68 с.