

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ХІМІКО - ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення  
та загальної хімічної технології**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:

В.о. Завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Наталія ТОЛСТОПАЛОВА

«\_\_\_» грудень 2020 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра  
за освітньо-професійною програмою «Хімічні технології неорганічних речовин  
та водоочищення»  
зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»  
на тему: «Оцінка і прогнозування якості води сучасними методами»**

Виконав:

студент 2 курсу, групи ХН-91мп

Дрікер Юхим Дмитрович \_\_\_\_\_

Керівник:

Професор каф. ТНР, В та ЗХТ, д.т.н., професор

Мітченко Тетяна Євгенівна \_\_\_\_\_

Консультант з економіко-організаційних рішень:

Доцент каф., к.т.н., доцент

Підлісна Олена Анатоліївна \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:

Доцент каф., к.т.н., доцент,

Полукаров Юрій Олексійович \_\_\_\_\_

Консультант з наукової частини:

к.т.н., доцент Інституту природничих наук, Оз, Норвегія

Малецький Захар Васильович \_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент каф. кібернетики ХТП, к.х.н., доцент,

Квітка Олександр Олександрович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**ХІМІКО - ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення  
та загальної хімічної технології

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 161 «Хімічні технології та інженерія»

Освітньо-професійна програма «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Наталія ТОЛСТОПАЛОВА

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

**Дрікеру Юхиму Дмитровичу**

1. Тема дисертації «Оцінка якості води сучасними методами прогнозування», науковий керівник дисертації Мітченко Тетяна Євгенівна, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «17» листопада 2020 р. №3332-с
2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2020р.
3. Об'єкт дослідження: санітарно-хімічні параметри якості підземних вод міста Києва та Київської області.
4. Вихідні дані: база даних моніторингового проєкту «Карта якості води».
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести аналіз бази даних моніторингового проєкту «Карта якості води» з використанням сучасних методів статистичної обробки; визначити основні фактори, що впливають на якість артезіанських вод; оцінити вплив переважаючих факторів на кількість домішок у воді і провести оцінку статистичної значущості отриманих результатів; розробити систему диференціальної оцінки забруднення води для подальшого прогнозування її складу і мінімізації витрат і ризиків при її очищенні; визначити оптимальні умови

очищення підземних вод з урахуванням основних факторів, що впливають на їх якість.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація.

7. Орієнтовний перелік публікацій: фахова стаття «Оцінка та прогнозування якості артезіанської води з використанням сучасних методів статистичної обробки даних» у фаховому виданні «Вода та водоочисні технології. Науково-технічні вісті» №2, 2020 р., фахова стаття «Оптимізація витрат на організацію децентралізованого підземного джерела питної води» у фаховому виданні «Вода та водоочисні технології. Науково-технічні вісті» №1, 2021 р., чотири статті у виданнях «Вода і Водоочисні Технології» №3 2019 р., №4 2019 р., №1-2 2020 р., №3-4 2020 р, тези представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» 14-15 листопада 2019 р.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економіко-організаційні рішення	Підлісна О.А., доцент		
Охорона праці	Полукаров Ю.О., доцент		
Наукова частина	Малецький З.В., доцент		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел		
2	Виявлення викидів серед даних		
3	Складання дескриптивної статистики		
4	Дослідження впливу факторів на склад підземних вод Київської області		
5	Складання загальної моделі якості підземних вод Київської області		
6	Техніко-економічні розрахунки		
7	Оцінка ринкових перспектив реалізації розробки		
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
9	Оформлення пояснювальної записки		

Студент

Дрікер Ю.Д.

Науковий керівник

Мітченко Т.Є.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 108 стор.; 26 рис.; 32 табл.; 3 додатки; 41 посилання.

Мета роботи полягає у оцінці можливості використання сучасних методів аналізу баз даних для прогнозування якості води з підземних джерел і оптимізації витрат на її очищення.

На основі аналізу літератури було обрано найбільш доцільні сучасні математичні методи обробки багатомірних даних, за допомогою яких проведено аналіз бази даних моніторингового проєкту «Карта якості води» щодо артезіанських вод Києва та Київської області.

Встановлено, що основними забруднювачами підземних вод Києва та Київської області є нітрати, органічні домішки, солі твердості, іони заліза та марганцю.

Встановлено можливість та доведена статистична значимість результатів прогнозування якості підземних вод з урахуванням інформації щодо глибини залягання та географічного зонування свердловини.

Проведено техніко-економічні розрахунки локальних систем водопідготовки та визначені оптимальні умови організації децентралізованого джерела водопостачання.

ПІДЗЕМНІ ВОДИ, МОНІТОРИНГ, АНАЛІЗ БАГАТОМІРНИХ ДАНИХ,  
ГЛИБИНА, ТВЕРДІСТЬ, НІТРАТИ, ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ

## ABSTRACT

Explanatory note: 108 pages; 26 figures; 32 tablets; 3 applications; 41 references.

The purpose of the work is to assess the possibility of using modern methods of database analysis to predict the quality of water from underground sources and optimize the cost of its purification.

Based on the analysis of the literature, the most appropriate modern methods of processing multidimensional data were selected, with the help of which the database of the monitoring project "Map of Water Quality" was analyzed for artesian waters of Kiev and Kiev region.

It has been established that the main pollutants of groundwater in Kiev and Kiev region are nitrates, organic impurities, hardness salts, iron and manganese ions.

The possibility and proved the statistical significance of the results of the prediction of groundwater quality based on information regarding the depth and geographical location of the well.

Technical and economic calculations of local water treatment systems were carried out and the optimal conditions for organizing a decentralized source of water supply were determined.

GROUNDWATER, MONITORING, ANALYSIS OF MULTIVARIATE DATA,  
DEPTH, HARDNESS, NITRATES, COST OPTIMIZATION

## Зміст

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів .....	9
ВСТУП.....	10
1 Літературний огляд .....	11
1.1 Характеристика водних об'єктів України.....	11
1.2 Моніторинговий проєкт «Карта якості води».....	14
1.3 Сучасні методи локальної водопідготовки .....	21
1.4 Аналіз багатомірних даних .....	25
1.4.1 Основи багатомірного аналізу .....	26
1.4.2 Основні завдання аналізу багатомірних даних .....	27
1.4.2.1 Опис даних.....	28
1.4.2.2 Кластеризація .....	28
1.4.2.3 Регресія і передбачення .....	29
1.5 Мета та задачі роботи .....	30
2 Об'єкти, методики та методи дослідження .....	31
2.1 База даних моніторингового проєкту «Карта якості води».....	31
2.2 Методи аналізу та обробки даних .....	31
2.2.1 Принципи дескриптивної статистики .....	31
2.2.2 Пошук викидів.....	34
2.2.3 Ієрархічна кластеризація .....	35
2.2.4 Метод групування географічно прив'язаних даних .....	36
2.2.5 Односторонній дисперсійний аналіз.....	38
2.3 Принципи розрахунку локальних систем очищення підземних вод .....	39
2.3.1 Установки комплексного очищення води .....	39
2.3.2 Установки іонного обміну для видалення нітратів .....	41
2.4 Бальна система диференціальної оцінки забруднення води .....	42
3 Експериментальна частина.....	43
3.1 Виявлення викидів .....	43
3.2 Дескриптивна статистика.....	43
3.3 Дослідження впливу глибини залягання свердловини на показники якості води.....	47

3.4 Дослідження впливу географічного розташування джерела на показники якості води .....	51
3.5 Загальна модель якості підземних вод Київської області.....	54
4 Техніко-економічні розрахунки.....	59
4.1 Техніко-економічні розрахунки розробки джерела артезіанської води.....	59
4.2 Техніко-економічні розрахунки локальної системи очищення води .....	61
4.3 Загальні витрати на розробку джерела артезіанської води та її очищення ...	65
5 Оцінка ринкових можливостей реалізації розробки.....	68
5.1 Загальний опис стартап-проєкту .....	68
5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища .....	74
5.3 Визначення основних факторів успіху проєкту.....	82
5.4 Розрахунок ціни інноваційної пропозиції на ринку .....	84
5.5 Оцінка ризику впровадження нової технології.....	88
6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	92
6.1 Шкідливі та небезпечні виробничі чинники в робочому кабінеті.....	92
6.1.1 Повітря робочої зони .....	92
6.1.2 Виробниче освітлення .....	93
6.1.3 Виробничий шум.....	94
6.1.4 Електробезпека.....	94
6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	96
6.2.1 Атестація робочого місця за умовами праці .....	96
6.2.2 Пожежна безпека.....	97
6.2.3 Аналіз небезпеки об'єкту .....	97
ВИСНОВКИ.....	102
Перелік посилань.....	104
Додаток А.....	108



## Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

МОЗ - мікроорганічні забруднення;

ДСанПіН – державні санітарні правила і норми;

ВУВТ – всеукраїнське водне товариство;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ANOVA (Analysis of Variance) – аналіз варіативності.

## ВСТУП

На сьогоднішній день в усьому світі і, зокрема, в Україні спостерігається помітне скорочення запасів прісної питної води з традиційних джерел та погіршення її якості, як за рахунок перебільшення в водоймах вмісту нормованих речовин, так і за рахунок появи нових хімічних забрудників антропогенного походження.

Всього Україна за рік споживає близько 10-15 куб. км води. На одного жителя України приходить 1,2 тис. м<sup>3</sup> водних ресурсів на рік, в той час як в Європі цей показник складає 8,6 тис. м<sup>3</sup> на рік. Крім того розподілені водні ресурси по Україні нерівномірно. У Донецькій, Запорізькій і Дніпропетровській областях на одну людину припадає катастрофічно мало води – 210-320 м<sup>3</sup> на рік, що в 15-20 разів менше, ніж в західних областях країни.

В Україні в основному вода надходить з поверхневих прісних джерел. Другим по значущості джерелом питної води в країні є підземні води, які забезпечують близько 10% потреб населення у водних ресурсах.

Як показують результати моніторингових проєктів, зокрема, проєкту «Карта якості води», вода з більшості джерел підземного децентралізованого водопостачання забруднена нітратами, іонами заліза, марганцю, солями твердості та іншими речовинами. Це викликає необхідність використання локальних систем очистки води для доведення її якості до рівня питної.

На якість підземних вод суттєво впливають різні геологічні, антропогенні, кліматичні та інші фактори, що приводить до постійних коливань її складу. Це необхідно враховувати при виборі та оптимізації як систем водопостачання, так і водоочищення. При вирішенні цієї задачі актуальною стає систематизація та обробка отриманих баз даних. В останні роки ця тема набуває все більшої популярності, що приводить до появи нових математичних інструментів, які широко використовуються в різних галузях науки та техніки.

Метою даної роботи є оцінка можливості використання сучасних методів аналізу багатомірних даних для прогнозування якості води з підземних джерел і оптимізації витрат на її очищення.

## 1 Літературний огляд

### 1.1 Характеристика водних об'єктів України

Незважаючи на велику кількість різних малих і великих річок, Україна — одна з найменш забезпечених водними ресурсами країн Європи. На одного жителя України приходить 1,2 тис. м<sup>3</sup> водних ресурсів на рік, в той час як в Європі цей показник складає 8,6 тис. м<sup>3</sup> на рік [1].

Крім того водні ресурси розподілені по Україні нерівномірно. У Донецькій, Запорізькій і Дніпропетровській областях на одну людину припадає катастрофічно мало води – 210-320 м<sup>3</sup> на рік, включаючи підземні джерела, що в 15-20 разів менше, ніж в західних областях країни [2].

При тому на сьогоднішній день спостерігається помітне скорочення запасів питної води з традиційних джерел за рахунок вирубки лісів, зменшення площ льодовиків, техногенного забруднення водних ресурсів, тощо, а також в результаті істотного збільшення кількості населення, за рахунок зростання народжуваності в країнах, що розвиваються і зростання тривалості життя в розвинених.

Другою за значимістю проблемою, після нестачі та зменшення кількості водних ресурсів, є погіршення якості питної води, отримуваної з традиційних джерел, як за рахунок збільшення в водоймах вмісту нормованих (природних і антропогенних) забруднень, так і за рахунок присутності відносно недавно виявлених хімічних речовин, що потрапляють в питну воду в мізерних (виражених в мікрограмах) кількостях, аналітичне визначення яких ускладнено, а вплив на живі організми мало вивчений. Як джерела надходжень у воду цих речовин можуть бути названі: тара для бутильованої води, фармацевтичні препарати, косметичні засоби, біологічно активні речовини та інше [3]. За деякими оцінками, подібних сполук налічується до 60 тисяч, і вони сьогодні відомі під загальною назвою «мікроорганічні забруднення» (МОЗ). Усунення МОЗ не відбувається ні на одному з етапів традиційної централізованої водопідготовки та водоочищення. Як показали результати численних досліджень, ефективне очищення води від МОЗ можливе

тільки при комплексному використанні сучасних методів локальної водопідготовки [3].

І, нарешті, на третьому місці — глобальні проблеми муніципального водопостачання, пов'язані не тільки з застарілими технологіями і зруйнованою інфраструктурою, а й з проблемою вторинного забруднення води при її транспортуванні продуктами корозії, а також деструкції біоплівки, що утворюється на внутрішніх поверхнях трубопроводів. Поява і розвиток біоплівки призводить до виникнення ряду проблем, зокрема: зниженню прохідності труб, зменшенню їх теплопровідності і, відповідно, збільшенню енерговитрат, а також корозії устаткування під дією продуктів життєдіяльності «мешканців» біоплівки (так званої біокорозії). Крім того, біоплівка акумулює токсичні органічні речовини, важкі метали, патогенні мікроорганізми, які при її руйнуванні виділяються у воду [3].

Всього Україна за рік споживає близько 10-15 куб. км води [4]. В основному вода надходить з поверхневих прісних джерел. Басейн Дніпра є головною водною артерією країни, яка забезпечує водою близько 70 % населення України. Останнім часом з річкою відбуваються негативні процеси, що суттєво погіршують якість води, впливають на довкілля та здоров'я населення. Зокрема, це процеси заростання водної рослинності та «цвітіння» води, які з кожним роком прогресують [3].

Так зване, явище «цвітіння» в літні місяці є вибухом розмноження сукупності видів синьо-зелених водоростей. При значному збільшенні біомаси водоростей (до  $500 \text{ г/м}^3$  і вище) починає проявлятися біологічне забруднення, внаслідок чого значно погіршується якість води. Зокрема, змінюється її колір, рН, в'язкість, знижується прозорість, змінюється спектральний склад світла, яке проникає у товщу води [3].

У воді з'являються токсичні сполуки і велика кількість органічних речовин, які створюють живильне середовище для бактерій, у тому числі й патогенних. Вода, зазвичай, набуває затхлого неприємного запаху. Виникає дефіцит розчинного кисню, що призводить до загибелі риби та інших мешканців водойми.

Другим по значущості джерелом питної води в країні є підземні води. Вони забезпечують близько 10% потреб у водних ресурсах [4]. На території басейну Дніпра зосереджена значна кількість прісних підземних вод. Прогнозні ресурси підземних вод басейну р. Дніпро складають 35 595,7 тис.м<sup>3</sup>/добу, що складає близько 60% від загальної суми (61 689,2 тис.м<sup>3</sup> /добу) прогнозних ресурсів підземних вод України [5].

Розподілені вони вкрай нерівномірно, зважаючи на різноманітність структурно-геологічних та фізико-географічних умов різних частин басейну. Основна частина ресурсів зосереджена у північних, північно-західних областях, розташованих в зоні надмірного зволоження у межах Дніпровського-Донецького і Волино-Подільського артезіанських басейнів [5]. Ці території характеризуються сприятливими умовами формування підземних вод, значною водозбагаченістю основних водоносних горизонтів і хорошим якісним станом підземних вод. Області, наближені до півдня басейну, мають обмежені ресурси підземних вод через несприятливі обставини формування підземних вод, обумовленими геологічною структурною будовою і кліматичними факторами. Площа цих областей належить до зони недостатнього зволоження і, отже, живлення підземних вод. Найменшою кількістю прогнозних ресурсів характеризуються Дніпропетровська, Запорізька, Кіровоградська та Миколаївська області [5].

Значна частина води, відібраної з підземних джерел, не доходить до споживача через високий вміст в ній солей і нерентабельність її підготовки. Це стосується шахтних вод, частка яких в загальному обсязі водозабору підземних вод становить 15-20% [4].

Наслідком нерівномірного розподілу підземних вод, та недостатньої їх якості у деяких регіонах, є нерівномірний розподіл водозабору з підземних джерел. Так у західних регіонах частка підземного водопостачання становить 48%, а в центральних 22% (при середньому значенні по країні 10,3%) [4].

Отже, так як кількість водних ресурсів обмежена, а склад природних вод різноманітний та непостійний, з особливою увагою необхідно віднестись до моніторингу вод, як джерел водопостачання, так і безпосередньо у споживача.

## 1.2 Моніторинговий проєкт «Карта якості води»

Питна вода — це вода, якість якої відповідає встановленим вимогам. Існує велика кількість міжнародних і регіональних документів, які регулюють вміст забруднюючих речовин у питній воді [6, 7, 8].

Встановленню нормативів на наявність тої чи іншої забруднюючої речовини в питній воді передують тривалі випробування і дослідження, спрямовані на вивчення впливу її присутності в певних кількостях на життєдіяльність живих істот і в першу чергу людини. В Україні таким документом є ДСанПіН «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Ним регулюється вміст 86 речовин у воді, з них 11 санітарно-бактеріологічні та 75 санітарно-хімічні [6]. Показники якості питної води повинні відповідати всім вимогам, зазначеним в цьому документі.

Також варто зазначити, що комунальними підприємствами здійснюється контроль якості води у точках відбору – на виході з очисних систем, до повного проходження через розподільні мережі. А безпосередньо у точці споживання якість води не перевіряється ні комунальними підприємствами, ні державними органами.

Оцінити якість води після розподільчої мережі, тобто у споживача, можливо лише завдяки даним моніторингу, який регулярно проводить громадська організація Всеукраїнське водне товариство WaterNet [9].

Починаючи з 2010 року ВУВТ WaterNet, в рамках проєкту «Карта якості води», проводить регулярну роботу по збору, моніторингу та систематизації аналізів якості води з усіх областей України. Станом на жовтень 2020 року в базі ВУВТ WaterNet налічувалося 54,8 тис. результатів аналізів. Сьогодні це сама об'ємна відкрита база даних про якість води в Україні, доступна кожному споживачеві в режимі онлайн. За 2010-2020 рр. незалежними сертифікованими лабораторіями — партнерами проєкту був виконаний аналіз понад 9,3 тис. проб водопровідної води, 37,9 тис. проб води з свердловин і 7,5 тис. проб води з колодязів (рис. 1.1.) [9].

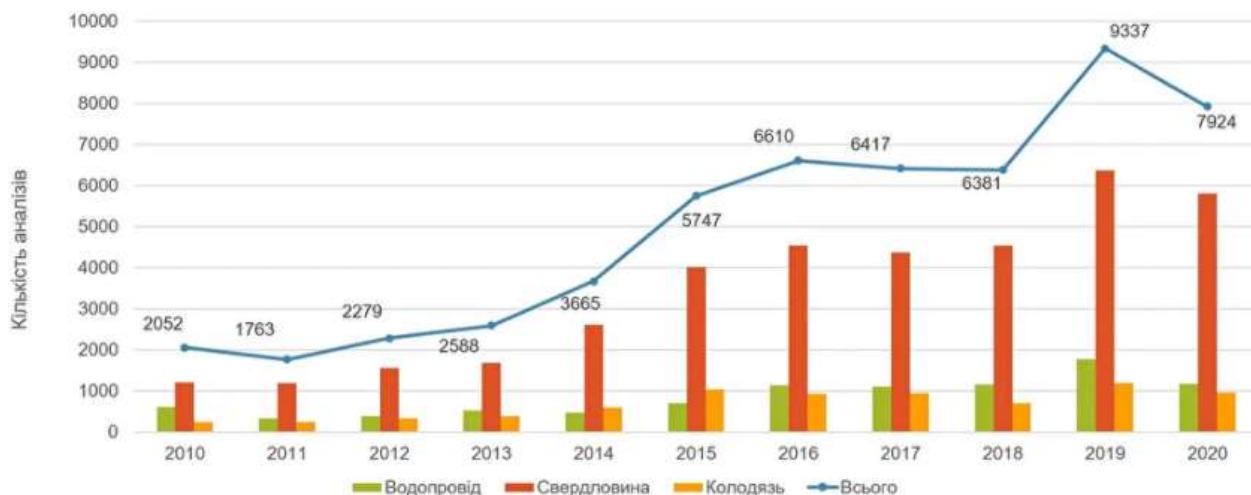


Рисунок 1.1 – Динаміка виконання аналізів води за час реалізації проєкту  
«Карта якості води»

Згідно з отриманими даними, для кожного типу джерела води була розрахована частка нестандартних проб, тобто проб, які не відповідають вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» за тим чи іншим показником якості води.

Як показав аналіз даних про склад питної води в Україні, найбільш часто реєструються відхилення за наступними санітарно-хімічними показниками якості: каламутність, сухий залишок, загальна твердість, залізо загальне, марганець, нітрати, кольоровість і перманганатна окиснюваність, тобто дані показники є індикаторними. На рис. 1.2 представлені частки нестандартних проб води за зазначеними показниками у період 2010 — 2020 рр [9].

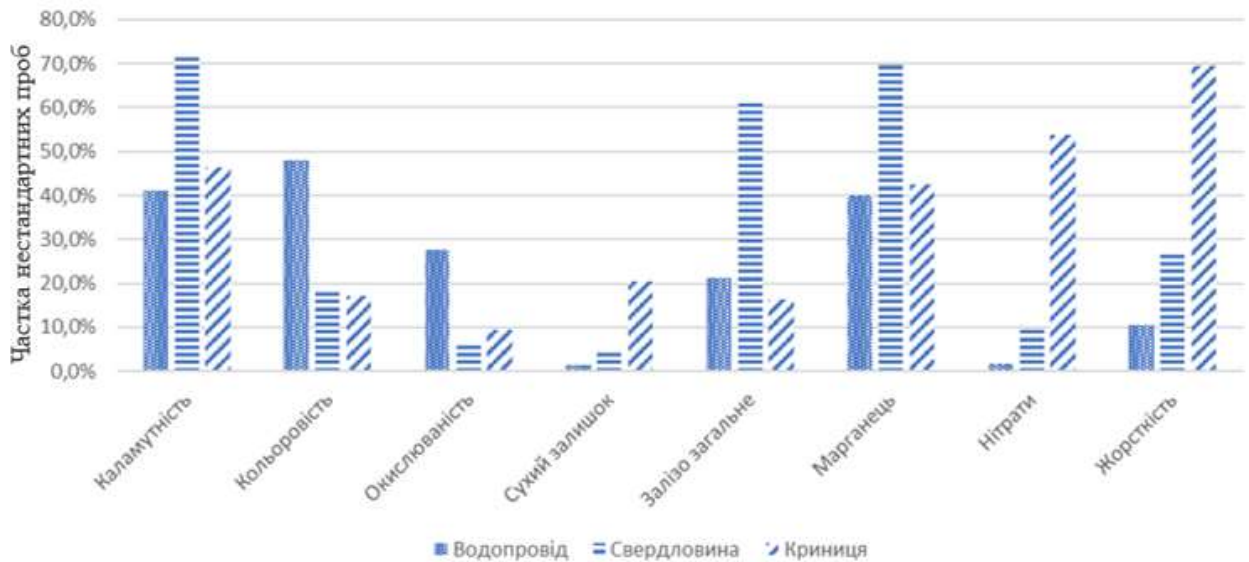


Рисунок 1.2 – Частка нестандартних проб за різними показниками для різних джерел водопостачання в Україні, за період з 2010-2020 рр.

Далі розглянемо детальніше кожен з індикаторних показників якості води.

Каламутність — показник, що характеризує зменшення прозорості води завдяки наявності тонкодисперсних зважених часток, тобто твердих речовин, які присутні в природних водах у завислому стані, і складаються з часток глини, піску, мулу, суспендованих органічних і неорганічних речовин, планктону і різних мікроорганізмів.

Як видно з рис. 1.2 підвищена каламутність характерна для води з усіх типів джерел, причому в більшій мірі для артезіанської води, а в меншій — для водопровідної та колодязної води. Підвищена каламутність водопровідної води часто викликана механічним відривом продуктів корозії трубопроводів і біоплівки, які з часом розвиваються в системі централізованого водопостачання. Причиною підвищеної каламутності артезіанських і колодязних вод зазвичай є наявність глинистих або вапняних суспензій, а також нерозчинних оксидів заліза та інших металів, що утворюються при контакті води з повітрям.

Самі по собі зважені речовини в більшості випадків не становлять серйозної загрози для здоров'я споживачів. Однак, підвищена каламутність зменшує ефективність процесів знезараження питної води, свідчить про знижену здатність



водойм до самоочищення, побічно свідчить про підвищений вміст ентеровірусів [3].

Сухий залишок (або загальна мінералізація) — сумарний кількісний показник вмісту розчинених у воді речовин. До найбільш поширених належать неорганічні солі (в основному бікарбонати, хлориди і сульфати кальцію, магнію, калію і натрію) і невелика кількість органічних речовин, розчинних у воді. Встановлено, що для того, щоб вода не мала гіркого і солоного смаку інтенсивністю понад 2 бали, значення показника «сухий залишок» не повинно перевищувати 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Саме таку воду називають прісною [6].

Суттєве перевищення вмісту мінеральних речовин найбільш характерне для артезіанських вод, в той час як для водопровідної води, яка найчастіше надходить з поверхневих джерел, частка нестандартних проб по показнику «сухий залишок» на перевищує 3% (рис. 1.2.).

Відомо, що вода з підвищеною мінералізацією впливає на секреторну діяльність шлунку, порушує водно-сольовий баланс, в результаті чого може наступити дисбаланс метаболічних і біохімічних процесів в організмі [3].

Загальна твердість води — це показник якості природної води, що визначається наявністю в ній головним чином розчинних солей кальцію і магнію. За вимогами до фізіологічної повноцінності води величина цього показника варіює в межах 1,5-7 мг-екв/дм<sup>3</sup>. В природних водах досить часто зустрічається перевищення норми за цим показником (рис. 1.2.), особливо це характерно для артезіанських (27%) та криничних вод (70%). Водночас, при використанні для доочистки води зворотньо-осмотичних систем вміст іонів твердості в воді зазвичай не досягає рівня вимог.

Висока твердість води призводить до порушення всмоктування жирів у кишечнику в результаті утворення кальцієво-магнієвих нерозчинних мил при омиленні жирів; у осіб з чутливою шкірою висока твердість сприяє появі дерматитів у зв'язку з тим, що кальцієво-магнієві мила мають подразнюючу дію, волосся після миття стає твердим [3].

Також тверда вода негативно впливає на побутову техніку, через відкладання солей кальцію та магнію на нагрівних елементах. Незалежні дослідження, проведені водної асоціацією Water Quality Association і компанією Scientific Service, США, показали, що використання пом'якшеної води дозволяє споживачам істотно скоротити свої витрати, в першу чергу, за рахунок енергозбереження при нагріванні води [10].

Наднормативний вміст заліза в артезіанській воді є для України, як відомо, найтипівішим явищем (61% нестандартних проб артезіанської води). При цьому вміст заліза може сягати до 10-15 мг/дм<sup>3</sup>, що майже в 100 раз перевищує норму [9]. Проте і в водопровідній воді доля нестандартних проб за цим показником досить висока – 21% (рис. 1.2.).

Залізовмісна вода (особливо підземна) на вигляд прозора і чиста. Однак, навіть при нетривалому контакті з киснем повітря залізо окислюється, надаючи воді жовтувато-бурого забарвлення. Вже при концентраціях заліза вище 0,2 мг/дм<sup>3</sup> така вода здатна викликати появу іржавих плям на сантехніці і на білизні при пранні. При вмісті заліза вище 1 мг/дм<sup>3</sup> вода стає каламутною, забарвлюється в жовто-бурий колір, у неї з'являється характерний металевий присмак. Все це робить таку воду практично неприйнятною як для технічного, так і для питного застосування. За органолептичними показниками ГДК заліза у воді в Україні встановлена на рівні 0,2 мг/дм<sup>3</sup> [6].

Але, крім поганих органолептичних властивостей, вода з підвищеним вмістом заліза небезпечна при довготривалому використанні, оскільки залізо здатне відкладатися в печінці, призводячи до її функціональних розладів [3].

Марганець, як правило, супроводжує залізо, присутнє в артезіанській воді. Тому закономірною виглядає пропорційність частки нестандартних проб за цим забруднювачем до аналогічного показника за залізом (70% нестандартних проб артезіанської води (рис. 1.2.)). Інша ситуація складається з поверхневими водами — щорічно під час паводку та в період цвітіння води спостерігається суттєве сезонне зростання частки нестандартних проб за марганцем у водопровідній воді (40%).

Марганець, присутній в поверхневих і артезіанських водах, як в розчинній, так і у зв'язаній формах, надає небажаний присмак напоям і забарвлює сантехніку і одяг при пранні. Вміст марганцю у воді не повинен перевищувати  $0,05 \text{ мг/дм}^3$  [6]. А для багатьох промислових цілей його вміст повинен бути ще менше —  $0,01\text{-}0,02 \text{ мг/дм}^3$  [3].

Надлишок марганцю може бути небезпечним для здоров'я. При отруєнні марганцем з'являються загальна слабкість, вегетативна лабільність, пітливість, швидка стомлюваність, сонливість. При тривалій інтоксикації розвивається клінічна картина «марганцевого паркінсонізму» (тремтіння). Клінічна картина хронічного отруєння марганцем має неврологічну форму. Надлишок марганцю у воді (понад  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ ) призводить до захворювань кісткової системи [2].

Останніми роками з'являється все більше інформації про глобальне поширення нітратів, як у воді та ґрунті, так і в продуктах харчування, а також про їх згубний вплив на здоров'я людини [3].

Нітрати — це солі азотної кислоти, підвищений вміст яких в воді, як правило, викликаний їх надходженням з господарсько-побутовими і промисловими стоками, а також зі стоками з сільськогосподарських угідь, які обробляються азотовмісними добривами. Найбільш уразливі для забруднення нітратами шахтні колодязі і неглибокі свердловини, куди вода надходить з верхнього незахищеного водоносного горизонту (ґрунтова вода). 54% проб криничної води мали перевищений вміст нітратів (рис. 1.2.). Тому при використанні такої води в першу чергу рекомендується зробити її аналіз на вміст нітратів. Це особливо актуально для сільської місцевості і приватного сектора в містах, жителі яких використовують для питних цілей колодязі.

Безпосередньо нітрати для здоров'я людей не несуть загрози, вони малотоксичні і, якщо людина п'є достатню кількість води, легко виводяться з організму разом з сечею. Але нітрати можуть переходити в отруйні нітрити і далі в канцерогенні нітрозаміни. Це відбувається у випадках, коли людина страждає запальними захворюваннями шлунку і кишечника. Особливо небезпечні нітрати в перші три місяці життя дитини. Для дорослих перехід нітратів у нітрити в організмі

і в кінцевому підсумку в нітрозаміни — процес, який може викликати появу злоякісних новоутворень [3].

Крім того, відомо, що нітрати легко утворюють метгемоглобін. Метгемоглобін лише нагадує справжній гемоглобін, але він не здатний пере-носити кисень. Вкрай важко протікає метгемоглобінемія у грудних дітей (насамперед штучно годованих молочними сумішами, приготованими на воді з підвищеним вмістом нітратів) і в людей, які страждають серцево-судинними захворюваннями. Накопичення метгемоглобіну в крові призводить до кисневого голодування організму. З огляду на ці причини необхідно обмежувати надходження нітратів в організм — не вживати воду з підвищеною концентрацією нітратів, гігієнічний норматив яких у питній воді не більше 50 мг/дм<sup>3</sup> [6].

Про наявність у воді домішок природних органічних речовин — гумінових і фульвокислот, свідчить підвищене значення показників якості води — «окиснюваність» і «кольоровість». Органічні речовини природного походження забарвлюють воду в різні відтінки жовтого кольору, саме тому адекватним показником їхньої присутності може бути показник «кольоровість». Окиснюваність — це показник, який відображає кількість кисню, яка необхідна для окиснення всіх здатних до окиснення речовин, які присутні у воді, — в першу чергу природних органічних речовин. Незважаючи на те, що обидва показники є непрямыми, їх використання дозволяє оцінити рівень забруднення води природними органічними речовинами.

Очевидно, що присутність таких речовин в поверхневих водах суттєво перевищує їхній вміст в підземних. Ще однією характерною особливістю є сезонні і погодні впливи на концентрацію цих речовин в поверхневих, водах, а отже і в водопровідній воді. В Україні 27,5 % проб водопровідної води мали перевищені значення окиснюваності та 48% проб – кольоровості (рис. 1.2).

Самі по собі природні органічні речовини не становлять загрози для здоров'я споживачів, однак при дезінфекції води окислювальними методами, зокрема хлоруванням, ці речовини утворюють побічні продукти. До їх числа відносяться тригалометани, галогеноцтову кислоту, галокетони і галоацетонітріл. Більшість

досліджень показують, що речовини цієї групи характеризуються канцерогенним ефектом, а також чинять негативний вплив на органи травної та ендокринної систем [3].

Отже, зважаючи на значні частки нестандартних проб по багатьом показникам якості води, на сьогоднішній день єдиним способом доведення якості води в точці споживання до норм питної є використання локальних систем водопідготовки.

### 1.3 Сучасні методи локальної водопідготовки

Перед сучасною водопідготовкою сьогодні стоять численні виклики, пов'язані не тільки з покращанням якості прісної питної води, але і з повторним використанням стічних вод, знесоленням морської води, видаленням мікроорганічних та нанопластичних домішок, тощо.

Для вирішення всіх цих проблем існують як перевірені часом, так і зовсім нові підходи для ефективної очистки води. В залежності від конкретної задачі використовуються ті чи інші матеріали та методи, а найчастіше їхні комбінації, що дозволяє отримати максимально придатний результат одночасно з екологічної та економічної точки зору.

У таблиці 1.1 наведені основні типи забруднювачів, які зустрічаються у водопровідній, або підземній воді і методи їх видалення.

Таблиця 1.1 Основні типи забруднювачів і методи їх видалення [11]

Показник якості	Домішки води	Рішення
1	2	3
Каламутність	Пісок, глина, іржа, мул	<b>Механічний фільтр:</b> для підземних вод – картриджний, для водопровідної води – сітчастий або картриджний
Твердість	Кальцій і магній	<b>Фільтр з іонообмінної смолою</b> або <b>фільтр з комплексним завантаженням</b> , якщо в воді також містяться сполуки заліза і марганцю

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Вміст заліза	Залізо	<b>Фільтр з комплексним завантаженням</b>
Вміст марганцю	Марганець	<b>Фільтр з комплексним завантаженням</b>
Окиснюваність	Органічні речовини	<b>Фільтр з активованим вугіллям або фільтр з комплексним завантаженням</b>
Вміст нітратів	Нітрати	<b>Фільтр з аніонітом, або Установка зворотного осмосу</b>
Загальний солевміст	Розчинені солі	<b>Установка зворотного осмосу</b>
Запах, Активний хлор	Хлор	<b>Фільтр з активованим вугіллям</b>
Запах, Вміст сірководню	Сірководень	<b>Фільтр з активованим вугіллям Centaur</b>

Механічний фільтр представляє корпус (колбу), всередині якого розміщений картридж з спіненого поліпропілену. В процесі фільтрації вихідна вода подається на зовнішню поверхню картриджа (Рис 1.3), проходячи крізь яку забруднювачі розміром більше 20 мкм затримуються на ній. Термін експлуатації одного картриджа залежить від складу вихідної води і може складати від 2 до 6 місяців [12].

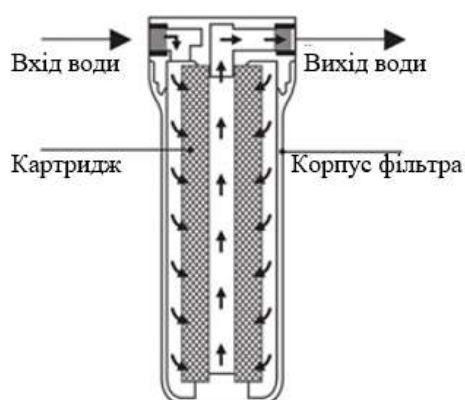


Рисунок 1.3 – Фільтр механічного очищення

Конструкції і принципи роботи фільтрів з іонообмінною смолою, комплексним завантаженням, або активованим вугіллям не відрізняються один від

одного. Дані установки складаються з балона з фільтруючим матеріалом, керуючого електронного клапана і сольового бака, для регенерації (Рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Автономний фільтр очищення води [12]

1 – балон, 2 – керуючий клапан, 3 – сольовий бак

Балони для систем очищення води виготовляються з скловолокна за безшовною технологією. Вони є універсальними для будь-яких фільтруючих матеріалів. Об'єм балонів, як правило, варіюється від 30 до 200 літрів.

Автоматичний керуючий клапан є невід'ємною частиною систем очищення води. Він забезпечує управління всіма режимами роботи установки шляхом перенаправлення потоку води в потрібному напрямку під час роботи (фільтрації) і регенерації системи [12].

Автоматичні керуючі клапана виготовлені з матеріалів, стійких до впливу як забруднювачів, що містяться у вихідній воді, так і реагентів, які використовуються для регенерації фільтраційного матеріалу.

Клапан має інжектор, який регулює витрату регенераційних розчинів. Також керуючий клапан контролює витрати води під час прямої промивки, розпушування та наповнення бака для приготування регенераційного розчину. Клапан починає процедуру регенерації після очищення заданого об'єму води і/або в заданий час доби.

Сольовий бак призначений для приготування і зберігання розчину хлориду натрію, необхідного для регенерації фільтруючого завантаження в системі пом'якшення води, або комплексного очищення.

На сьогоднішній день в Україні найбільш поширене комплексне завантаження для очищення води Еsomix.

Еsomix – багатокомпонентний фільтруючий матеріал який складається з п'яти іонообмінних, сорбційних і фільтраційних компонентів, як стандартних, що випускаються промислово, так і специфічних – підготовлених з використанням спеціально розроблених технологій [13]. Матеріал призначений для очищення підземної і водопровідної води. Він видаляє з води домішки заліза, марганцю, органічні забруднення, пом'якшує воду і затримує амоній. Всі ці процеси відбуваються одночасно в одну стадію і в одному фільтрі. Матеріал простий у застосуванні – використовується в стандартних фільтраційних системах, регенерується розчином хлориду натрію. Термін служби матеріалу становить 5 років [12].

Комплексне завантаження Еsomix складається з наступних матеріалів [13]:

- Інертний матеріал для затримання окисленого заліза і підвищення ефективності зворотного промивання;
- Сорбент FerroSorb для видалення заліза і марганцю;
- Сорбент HumiSorb для видалення органічних домішок;
- Сильнокислотна катіонообмінна смола в натрієвій формі для пом'якшення води;
- Кварцовий пісок для рівномірного розподілу потоку води.

Фільтруючий матеріал Еsomix може застосовуватися для очищення води з вмістом заліза до 15 мг/дм<sup>3</sup>, марганцю до 3 мг/дм<sup>3</sup>, твердістю до 15 мг-екв/дм<sup>3</sup>, окиснюваністю до 20 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (4 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> для Еsomix Р) [13].

Іншим поширеним прикладом фільтраційного матеріалу комплексної дії може служити завантаження Crystal-Right.

Crystal-Right – іонообмінний фільтруючий матеріал, на основі неорганічного цеоліту, отриманого з алюмосилікату натрію [14]. Даний матеріал



використовується для видалення з води марганцю і заліза, пом'якшення води, очищення від невеликої кількості сірководню.

Принципи циклічного відновлення вихідної ємності матеріалу в комплексній системі очищення води з природним цеолітом Crystal Right не відрізняються від роботи стандартних фільтрів з іонообмінним катіонітом.

Crystal-Right може застосовуватися для очищення води з твердістю від 1 до 15 мг/дм<sup>3</sup>, сумарним вмістом заліза і марганцю до 15 мг-екв/дм<sup>3</sup>, вмістом сірководню до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, рН вище 5,7, окиснюваністю до 6 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> і солевмістом вище 80 мг/дм<sup>3</sup> [14].

Для очищення води з надлишковим солевмістом в побутових умовах використовуються компактні установки зворотного осмосу. Основні відмінності побутових мембранних систем від промислових це невеликі габарити, менші значення тиску на вході в систему (відсутність додаткового насосного обладнання) та менші значення виходу перміату.

У побутових системах використовуються мембранні елементи рулонного типу, виготовлені з поліаміду і полісульфону з підкладкою з поліефірного волокна [15].

Для правильного вибору методів локальної водопідготовки, та для розрахунку систем очищення води необхідно володіти інформацією про якість питної води, та її можливі зміни упродовж строку служби обладнання (мінімум 10 років). З цією задачею може допомогти аналіз багатомірних даних про якість води.

#### 1.4 Аналіз багатомірних даних

Майже всі технологічні і вимірювальні системи, що використовуються в науці, характеризуються багатомірним набором параметрів. Будь-яке окреме явище, яке ми б хотіли детально вивчити, зазвичай залежить від кількох змінних. Наприклад, погода залежить від таких величин, як швидкість вітру, атмосферний тиск, температура, точка роси, крім очевидних сезонних коливань. І неважливо, з якої області науки і техніки були взяті дані – досліджувана властивість дуже зрідка залежить від однієї і тільки від однієї змінної.

Склад будь-якої води це сукупність взаємопов'язаних параметрів, таких як вміст усіх розчинених речовин, які в свою чергу залежать від природи джерела, пори року, геологічних факторів.

Методи аналізу, що працюють тільки з однією змінною в певний момент часу, так звані одномірні методи – дуже часто виявляються неефективними при обробці сучасних складних наборів даних [16]. Проте необхідно вміти використовувати і ці методи, так як вони часто дозволяють отримати важливу первинну інформацію.

#### 1.4.1 Основи багатомірного аналізу

Основне припущення, що лежить в основі багатомірного аналізу, полягає в тому, що вихідні дані містять інформацію про шукані властивості. Якщо ми хочемо визначити, скажімо, концентрацію деякої хімічної речовини в воді, тоді вимірювання, які ми будемо проводити, повинні якимось чином відображати шукану концентрацію. Просто акт вимірювання деякої безлічі властивостей сам по собі не є достатньою умовою того, щоб за допомогою багатомірного аналізу отримати більш докладну інформацію.

Повинен існувати кількісний зв'язок між набором вимірюваних змінних і важливими для нас властивостями. Якщо вимірювані характеристики змінюються, то повинна змінюватися і величина, що побічно від них залежить. З точки зору математики, це може бути сформульовано таким чином. Шукана ознака, позначимо її  $Y$ , є функцією, що залежить від вимірюваних змінних ( $X$ ). Оскільки  $Y$ , як правило, залежить від декількох змінних, то  $X$  зазвичай представляється вектором, який називають вектором вимірювань, або вектором зразків. Часто шукана ознака ( $Y$ ) може бути отримана тільки шляхом дорогих вимірювань (тобто таких, які вимагають громіздких, трудомістких або дорогих аналітичних методів). З іншого боку, змінні  $X$  часто можуть бути знайдені в результаті дешевих вимірювань (наприклад, спектроскопічних) і/або можуть реєструватися за допомогою нескладних інструментів, автоматично і т.п. Зв'язок між  $X$  та  $Y$  є центральним в багатомірному аналізі [16].

Очевидно, що між набором змінних, вимірюваних в експерименті, і властивістю, яку ми хочемо оцінити, завжди буде існувати якась кореляція, принаймні тому, що ми вибираємо найбільш характерні фактори. Чим вища кореляція, тим точніше можна оцінити шукану величину. У більшості випадків саме одночасний внесок кількох різних змінних і дозволяє побудувати багатомірну модель досліджуваної величини. Лише у виняткових випадках шукана властивість буде залежати тільки від однієї змінної, при цьому кореляція між ними повинна бути близька до одиниці. Така змінна називається «селективною змінною». Зазвичай аналіз багатомірних даних має справу з «неселективними» змінними, отже, використовується багато (а якщо потрібно, то дуже багато) таких змінних.

Вимірювання, або спостереження, які ми проводимо, завжди містять елементи (кількісні компоненти), які не мають ніякого відношення до шуканої властивості. Це можуть бути ефекти не пов'язані з цією властивістю, величини, які зовсім з нею не корелюють. При проведенні вимірювань зазвичай присутні інструментальні шуми і інші випадкові похибки вимірювань, але, крім цього, можуть існувати й інші побічні явища, які ми реєструємо в експериментах. Зазвичай, це в значній мірі залежить від кожного конкретного завдання.

#### 1.4.2 Основні завдання аналізу багатомірних даних

Існує велика кількість підходів до аналізу багатомірних даних. Залежно від того, яку саме інформацію ви бажаєте отримати, проводиться і вибір методу. Вкрай важливо сформулювати завдання змістовно, так, щоб мета аналізу була максимально зрозуміла, а також представити дані у вигляді, найбільш зручному для досягнення поставленої мети. Це не завжди просто зробити. Однак якщо завдання і мета чітко сформульовані, вибір конкретної методики, зазвичай, не містить труднощів.

Аналіз багатомірних даних використовується для вирішення різних завдань. Всі їх можна розділити на три основні групи [16]:

- опис даних (моделювання структури даних);
- завдання кластеризації і класифікації;

- регресія і передбачення.

#### 1.4.2.1 Опис даних

Значна частина багатомірного аналізу пов'язана з простим «розгляданням» даних, описом їх деякими сумарними характеристиками і дуже часто поданням прихованих структур за допомогою відповідних графіків. Такими методами можна вивчати дані, які є змінними стану якогось технологічного процесу, наприклад, органічного синтезу (температура, коефіцієнт заломлення і т.д.), тобто деяку  $p$ -мірну характеристику  $n$  зразків.

Цілі як одномірного, так і багатомірного опису даних можуть бути різноманітними: від визначення середніх значень і стандартних відхилень до визначення кореляцій, і побудови регресійних моделей. Наприклад, в разі органічного синтезу доцільно було б подивитися, які саме змінні впливають на вихід продукту в цілому або на селективність виходу. Дані, отримані при синтезі, можна використовувати і для того, щоб відповісти на наступні питання: яка кореляція між температурою і виходом продукту? Чи впливає час перегонки на коефіцієнт заломлення?

Часто використовується для опису і аналізу структури даних, представлених матрицею розмірності метод головних компонент [17, 18].

#### 1.4.2.2 Кластеризація

Кластеризація – процес розбиття заданої вибірки об'єктів (спостережень) на непересічні підмножини, звані кластерами, так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися [19].

Однією з цілей кластеризації є вивчення даних шляхом виявлення кластерної структури. Розбиття спостережень на групи схожих об'єктів дозволяє спростити подальшу обробку даних і прийняття рішень, застосовуючи до кожного кластеру свій метод аналізу.

Кластеризація також застосовується при необхідності стиснення даних. Якщо вихідна вибірка надлишково велика, то можна скоротити її, залишивши по одному найбільш типовому представнику від кожного кластера.

Так само кластеризація служить для виявлення новизни, коли при аналізі виділяються нетипові об'єкти, які не вдається приєднати ні до одного з кластерів. Для вирішення завдань методами кластерного аналізу, необхідно задавати кількість кластерів заздалегідь [20].

Оскільки у проєктах з моніторингу якості води продовжує збільшуватись досліджувана кількість параметрів, і частота вимірювань, виникає проблема, як представити ці дані таким чином, щоб їх можна було найкращим чином використовувати для реалізації коригувальних дій та інформування спеціалістів, у сфері водних ресурсів.

У літературі представлена можливість використання методів кластеризації для візуалізації даних, розпізнавання тенденцій, аномалій і кореляцій між параметрами якості води, які зазвичай важко виявити [21].

Під класифікацією розуміють віднесення нових даних до вже відомих груп, тобто після пошуку кластерів. Цікаво, що і тут з успіхом може використовуватися метод головних компонент, метод SIMCA та багато інших методів класифікації [16].

#### 1.4.2.3 Регресія і передбачення

Регресія – це підхід, за допомогою якого можна співвідносити один з одним два набору змінних. При цьому одна (або кілька) змінних  $Y$  визначаються по добре підібраній множині  $X$ -змінних, пов'язаних з  $Y$ . Набір  $X$  в загальному випадку повинен складатися не менше ніж з трьох змінних. Зауважимо, що такий підхід часто застосовується для непрямих вимірювань даних. Змінні  $X$  – результати непрямих вимірювань, а  $Y$  – це ті властивості, що нас цікавлять. Регресія дуже широко використовується в наукових і технічних галузях.

Передбачення – це визначення значень  $Y$  для нових значень  $X$  за допомогою попередньо побудованої  $XY$ -моделі, для якої використовуються тільки нові виміри  $X$ -змінних [16].

Так наприклад можливо співвідносити кліматичні умови ( $X$ -змінні) з параметрами якості поверхневих вод ( $Y$ -змінні).

Отже, для правильного вибору методів аналізу необхідно змістовно сформулювати завдання та мету роботи.

### 1.5 Мета та задачі роботи

Мета роботи: Оцінка можливості використання сучасних методів аналізу баз даних для прогнозування якості води з підземних джерел і оптимізації витрат на її очищення.

Завдання:

- 1) Провести аналіз бази даних моніторингового проєкту «Карта якості води» з використанням сучасних методів статистичної обробки;
- 2) Визначити основні фактори, що впливають на якість артезіанських вод;
- 3) Оцінити вплив переважаючих факторів на кількість домішок у воді і провести оцінку статистичної значущості отриманих результатів;
- 4) Розробити систему диференціальної оцінки забруднення води для подальшого прогнозування її складу і мінімізації витрат і ризиків при її очищенні;
- 5) Визначити оптимальні умови очищення підземних вод з урахуванням основних факторів, що впливають на їх якість.

## 2 Об'єкти, методики та методи дослідження

### 2.1 База даних моніторингового проєкту «Карта якості води»

Станом на жовтень 2020 року в базі даних проєкту налічувалося 54,8 тис. результатів аналізів проб води, в тому числі 45,4 тис. результатів аналізів проб води з децентралізованих джерел водопостачання [9]. Кількість аналізів проб підземних вод Київської області складає 25,3 тис., що і є досліджуваною вибіркою.

Всі проби води були відібрані згідно ГОСТ 24481 "Вода питна. Відбір проб" у період з 2010 по 2020 рік.

Для кожного аналізу відомі географічні координати точки відбору проби та для частини аналізів (2620 проб) відомо глибину залягання свердловини, з якої відібрано пробу води.

Параметрами якості проб води є: окиснюваність, кольоровість, вміст заліза, марганцю, нітратів, загальна твердість, солевміст, каламутність.

Аналізи проб води були проведені в лабораторіях, акредитованих за стандартами ДСТУ ISO/IEC 17025 та ДСТУ ISO 10012 відповідно до стандартних методів, що наведені в списку літератури [22-27].

Показники якості води за вказаними компонентами порівнювалися з вимогами, сформульованими в ДСанПіН 2.2.4-171-10.

### 2.2 Методи аналізу та обробки даних

#### 2.2.1 Принципи дескриптивної статистики

Нижче наведені визначення та формули розрахунку, що відносяться до основ одновимірної, так званої дескриптивної (описової) статистики.

**Дисперсія** випадкової величини – це міра розкиду її значень, яка показує, наскільки великими є розміри діапазону, що покриває її розподіл [16]:

$$Var(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}, \quad (2.1)$$

де  $Var(x)$  – дисперсія величини  $x$ ;  
 $n$  – кількість вимірів величини  $x$ ;  
 $\bar{x}$  – середнє значення величини  $x$ .

Середнє значення [16]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.2)$$

Традиційно міру цього розкиду прийнято виражати в одиницях вимірюваної величини, тому зазвичай використовують **стандартне відхилення** [16]:

$$\sigma_x = \sqrt{Var(x)}, \quad (2.3)$$

де  $\sigma_x$  – стандартне відхилення величини  $x$ .

**Коваріація** між двома випадковими величинами  $x_1$  і  $x_2$  – це міра їх лінійного зв'язку [16]:

$$cov(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n - 1)}, \quad (2.4)$$

де  $cov(x, y)$  – коваріація між величинами  $x$  та  $y$ .

Якщо великі значення  $x_1$  з'являються одночасно з великими значеннями  $x_2$ , то говорять про позитивну коваріацію. Якщо ж великі значення  $x_1$  з'являються одночасно з малими значеннями  $x_2$  і навпаки, то коваріація негативна. Велика коваріація в абсолютних значеннях вказує на існування суворої лінійної залежності між двома розглянутими змінними. Якщо ж її значення малі, то величини слабо залежать одна від одної: зміна  $x_1$  практично не впливає на зміну  $x_2$ .

При дослідженні лінійної залежності зручніше використовувати **кореляцію**, для обчислення якої різні характеристики приводяться до «загальної основи».

Кореляція між двома величинами обчислюється шляхом ділення їх коваріації на значення стандартного відхилення кожної зі змінних [16]:

$$r = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (2.5)$$



де  $r$  – кореляція між величинами  $x$  та  $y$ .

Отже, кореляцію можна розглядати як безрозмірне, нормоване значення коваріації. На практиці це один з найкорисніших показників зв'язку між змінними. Більш того, кілька коефіцієнтів кореляції можуть порівнюватися між собою, оскільки вони не залежать від того, в яких одиницях вимірювалися вихідні змінні. Вище наведено коефіцієнт кореляції Пірсона  $r$ . Величина  $r^2$  часто використовується для оцінки тієї частини загальної дисперсії, яка може бути описана за допомогою цієї лінійної залежності [16].

Також важливим поняттям описової статистики є розподіл даних. Під виглядом розподілу розуміють функцію, яка пов'язує значення змінної випадкової величини з ймовірністю її появи в сукупності. У більшості досліджень найчастіше використовується нормальний розподіл. Під нормальним розподілом (Рис. 2.1) мають на увазі симетричний розподіл колоколоподібної форми, при якому близько 68% даних відрізняється від середнього арифметичного не більше ніж на одне, а 95% даних – не більше ніж на два стандартних відхилення в кожную сторону [28].

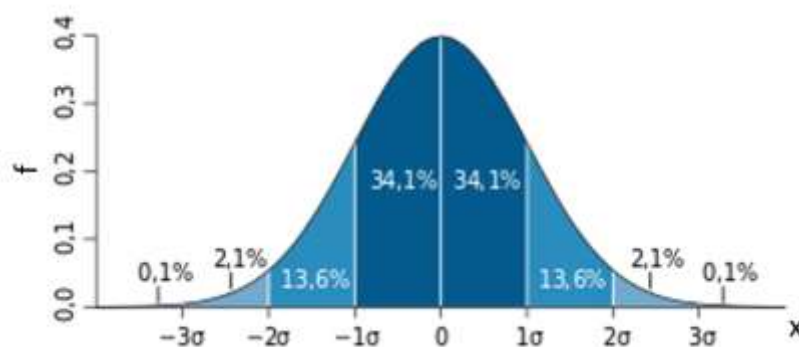


Рисунок 2.1 – Крива нормального розподілу даних.

Часто для зображення на одному графіку декількох розподілів використовують Box-plots (Рис. 2.2).

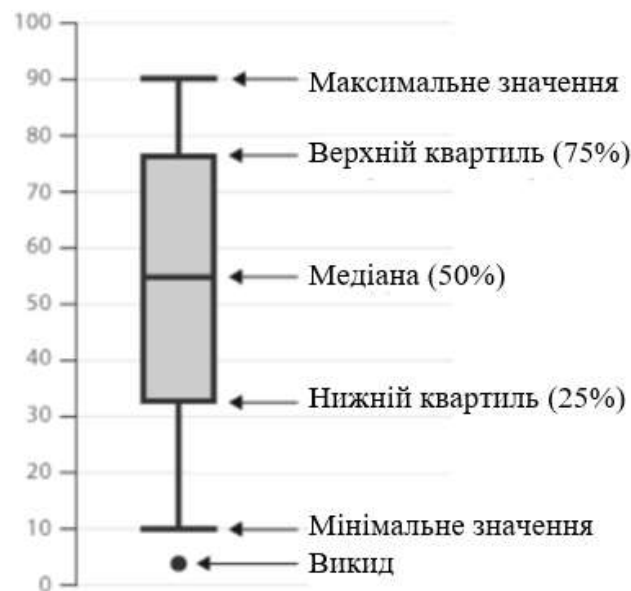


Рисунок 2.2 – Графік Box-plots.

Box-plots – графік, який використовується в описовій статистиці, компактно зображає одномірний розподіл. Межами прямокутника служать перший і третій квартилі (25-й і 75-й відсоток вибірки), лінія в середині прямокутника – медіана (50-й відсоток). Кінці ліній над і під прямокутником – краї статистично значущої вибірки (без викидів) [29].

### 2.2.2 Пошук викидів

Викид – в статистиці результат вимірювання, що виділяється із загальної вибірки.

Поширеним методом машинного навчання, який застосовується для пошуку викидів є Метод опорних векторів для одного класу, математичний апарат якого детально описаний в літературі [30].

Даний метод групує вибірку від початку координат (Рис. 2.3) і ґрунтуючись на заданому критерії  $Nu$  розділяє її на два кластери.  $Nu$  – відсоток викидів в вибірці.

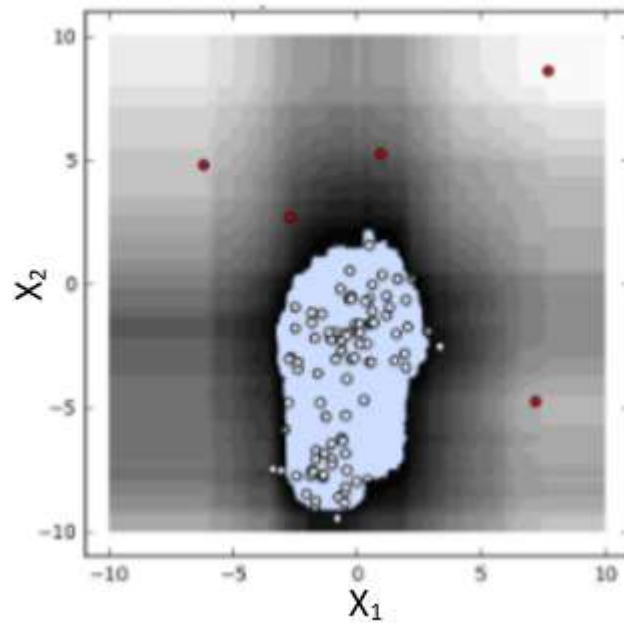


Рисунок 2.3 – Візуалізація роботи алгоритму пошуку викидів:

● – викиди, ● – нормальні дані.

### 2.2.3 Ієрархічна кластеризація

Основна мета алгоритму ієрархічної кластеризації полягає в побудові структури кластерів. Можна виділити два види алгоритму:

- Об'єднуючий;
- Розділяючий.

Відстань між кластерами (різницю між середніми значеннями параметрів) приймають за міру, яка використовується для визначення, які кластери повинні бути об'єднані, а які кластери потрібно розділити [31, 32].

У разі об'єднуючого ієрархічного алгоритму кожен елемент з безлічі спостережень приймається за окремий кластер і на кожному кроці роботи алгоритму найбільш близькі пари елементів об'єднуються в один кластер. Умова об'єднання кластерів – це мінімальна різниця між параметрами груп, що об'єднуються.

Розділяючий ієрархічний алгоритм на початку роботи об'єднує всі спостереження в один кластер і на кожному кроці роботи відокремлює максимально віддалені пари спостережень.

В результаті роботи алгоритму утворюється структура кластерів, що представляє собою граф (сукупність об'єктів із зв'язками між ними). Робота алгоритму (Рисунок 2.4) завершується для обох випадків при досягненні необхідної кількості кластерів [31].

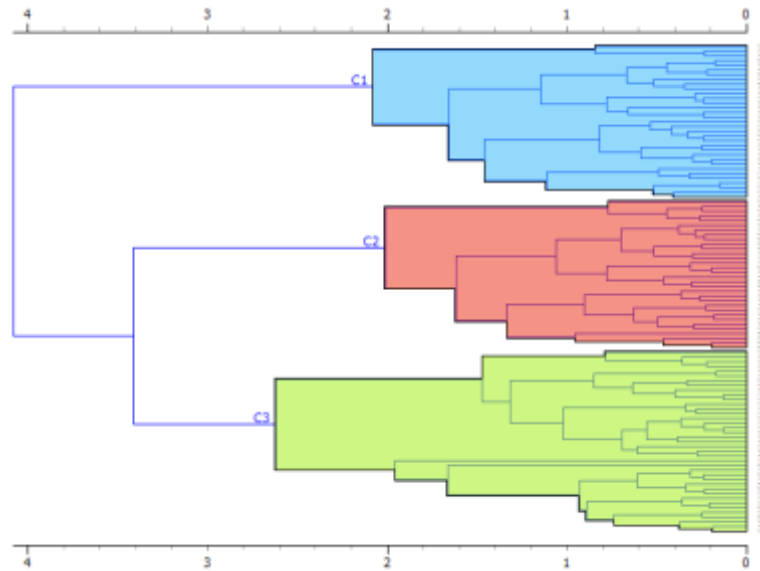


Рисунок 2.4 – Приклад роботи алгоритму розділюючої ієрархічної кластеризації:

C1, C2, C3 – утворені кластери.

#### 2.2.4 Метод групування географічно прив'язаних даних

В ході даної роботи був розроблений метод групування даних, що мають відношення до певних географічних координат.

Суть методу полягає в об'єднанні у групи даних, що розташовані на певних частинах території. Для групування задається параметр  $a$  – ширина та довжина прямокутної ділянки території у градусах. При чому максимальна кількість груп, що може бути утворена дорівнює:

$$N = \frac{(Long_{min} - Long_{max})}{a} \cdot \frac{(Lat_{min} - Lat_{max})}{a}, \quad (2.6)$$

де  $N$  – максимальна кількість груп;

$Long_{min}$  та  $Lat_{min}$  – мінімальні значення довготи та широти серед досліджуваних даних, град.;

$Long_{max}$  та  $Lat_{max}$  – максимальні значення довготи та широти, град.;

$a$  – ширина та довжина прямокутної ділянки території, град.

Після поділу території на відповідні ділянки усі данні, розміщені на одній ділянці, об'єднують у групу (Рис. 2.5), для якої обчислюється середнє значення та стандартне відхилення кожного параметра за формулами 2.2, 2.3.

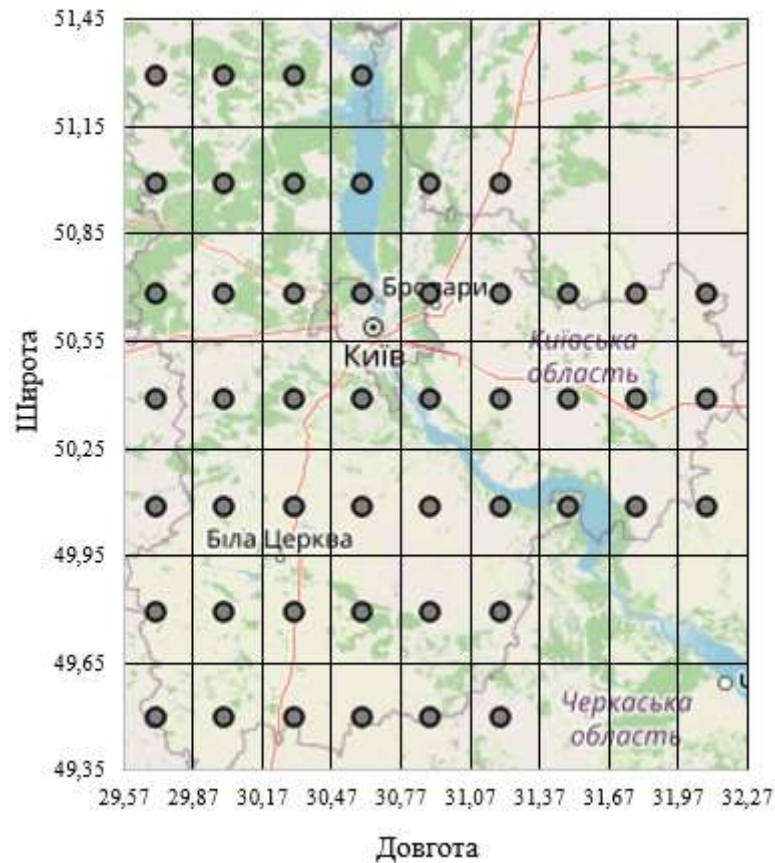


Рисунок 2.5 – Приклад групування географічно прив'язаних даних ( $a = 0,3$ ).

Даний метод вирішує декілька проблем. По-перше утворюється значно менша кількість даних, які легше аналізувати. На рисунку 2.6 видно, як замість 24 тисяч даних утворюється 130. По-друге утворюються рівномірно розподілені по території дані, що збільшує достовірність дослідження.

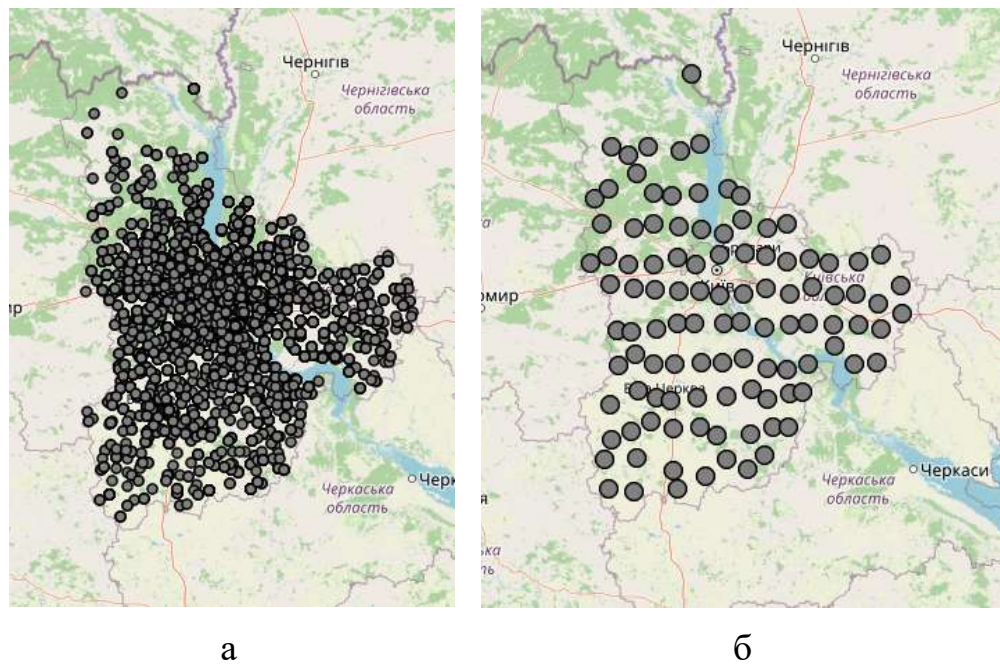


Рисунок 2.6 – Розташування точок відбору проб підземних вод до (а) та після (б) групування даних ( $\alpha = 0,175$ ).

### 2.2.5 Односторонній дисперсійний аналіз

Дисперсійний аналіз, запропонований Р. Фішером, є статистичним методом, призначеним для виявлення впливу ряду окремих факторів на результати експериментів. У зарубіжній літературі дисперсійний аналіз часто позначається як ANOVA, що розшифровується як аналіз варіативності (Analysis of Variance).

Сутність дисперсійного аналізу полягає в розчленуванні загальної дисперсії досліджуваної ознаки на окремі компоненти, зумовлені впливом конкретних факторів, і перевірці гіпотез про значущість впливу цих факторів на досліджувану ознаку. Порівнюючи компоненти дисперсії один з одним за допомогою F-критерію Фішера, можна визначити, яка частка загальної варіативності результативної ознаки зумовлена дією регульованих факторів [33].

Вихідним матеріалом для дисперсійного аналізу є дані дослідження трьох і більше вибірок, які можуть бути як рівними, так і нерівними за чисельністю, як пов'язаними, так і не пов'язаними.

Залежно від кількості змінних розрізняють однофакторний і багатфакторний дисперсійний аналіз (одна або кілька незалежних змінних).

Метод однофакторного дисперсійного аналізу застосовується в тих випадках, коли досліджуються зміни результативної ознаки під впливом зміни умов або градацій будь-якого фактору [33].

Математичний апарат однофакторного дисперсійного аналізу змістовно описаний в літературі [34].

## 2.3 Принципи розрахунку локальних систем очищення підземних вод

### 2.3.1 Установки комплексного очищення води

Конструкція та принцип роботи систем комплексного очищення води наведені у розділі 1.3.

Нижче наведені розрахунки комплексної системи очищення води з фільтруючим завантаженням Есотіх.

У таблиці 2.1 наведені робочі параметри комплексного завантаження Есотіх.

Таблиця 2.1 Робочі параметри фільтруючого матеріалу Есотіх [12, 13].

Параметр	Показник
Температура оброблюваної води	5-40 °С
Робочий інтервал рН	5-9
Оптимальна висота шару	800 мм
Швидкість потоків :	
робочий цикл	20-25 м/год
розпушування	10-15 м/год
регенерація	3-5 м/год
прямоточна промивка	10-20 м/год
Об'єм заповнення колони	60%
Регенераційний розчин	8-10% хлорид натрію
Витрата солі на регенерацію	100 г/дм <sup>3</sup>
Робоча ємність	0,7 г-екв/дм <sup>3</sup>

Ємність фільтра – кількість домішок, яку даний фільтр може видалити за один цикл фільтрації, г-екв [35]:

$$E = \frac{V_{\text{зав}}}{E_{\text{роб}}}, \quad (2.7)$$

де  $E$  – ємність фільтра, г-екв;

$V_{\text{зав}}$  – об'єм завантаження фільтра,  $\text{дм}^3$ ;

$E_{\text{роб}}$  – питома робоча ємність завантаження, г-екв/ $\text{дм}^3$ .

Фільтроцикл (ресурс) – об'єм води, який може бути очищений за один цикл роботи фільтра,  $\text{м}^3$  [35]:

$$V_{\text{фц}} = \frac{E}{C_{\text{заг}}}, \quad (2.8)$$

де  $V_{\text{фц}}$  – фільтроцикл,  $\text{м}^3$ ;

$C_{\text{заг}}$  – загальна твердість води, мг-екв/ $\text{дм}^3$ .

Кількість солі на регенерацію – необхідна кількість солі для приготування сольового розчину для однієї регенерації, кг [35]:

$$Q_{\text{солі}} = \frac{V_{\text{зав}}}{D_{\text{солі}}}, \quad (2.9)$$

де  $V_{\text{зав}}$  – об'єм завантаження,  $\text{дм}^3$ ;

$D_{\text{солі}}$  – кількість хлориду натрію необхідна для регенерації 1  $\text{дм}^3$  фільтруючого завантаження,  $\text{кг}/\text{дм}^3$ .

Кількість регенераційних стоків – об'єм води на 1 регенерацію,  $\text{м}^3$  [35]:

$$Q_{\text{сток}} = V_{\text{зав}} \cdot q_{\text{в}}, \quad (2.10)$$

де  $V_{\text{зав}}$  – об'єм завантаження,  $\text{дм}^3$ ;

$q_{\text{в}}$  – кількість води необхідна для регенерації 1  $\text{дм}^3$  фільтруючого завантаження,  $\text{дм}^3/\text{дм}^3$ .



### 2.3.2 Установки іонного обміну для видалення нітратів

Тип аніоніту для очищення води від нітратів вибирають на основі інформації про вміст у вихідній воді нітратів і сульфатів [36]: якщо вміст сульфатів не перевищує вміст нітратів, доцільно використовувати стандартні високоосновні аніоніти; якщо концентрація сульфатів перевищує концентрацію нітратів, більш доцільно застосовувати нітрат селективні аніоніти.

Згідно з даними проєкту «Карта якості води», в Київській області середній вміст сульфатів в підземних водах складає 0,625 мг-екв/дм<sup>3</sup>, що менше вмісту нітратів у воді, що потребує очищення (0,97 мг-екв/дм<sup>3</sup>). Це говорить про доцільність використання високоосновних іонітів.

У літературі про роботу установок очистки води від нітратів з використанням високоосновних іонітів сформульовані правила, що сприяють їх успішній експлуатації [37]:

- Швидкість пропускання води через шар аніоніту повинна складати 30-50 об/об·год або лінійна швидкість – 20-30 м/год;
- Висота шару аніоніту повинна бути не менше 60 см;
- Рівень заповнення апарату аніонітом не повинен перевищувати 60% загального об'єму апарату;
- Зворотна промивка аніоніту при регенерації повинна здійснюватися при швидкості подачі води на 30-50% нижче, ніж це прийнято при експлуатації установок пом'якшення води;
- Якщо твердість води, що надходить на установку вище 2 мг-екв/дм<sup>3</sup>, її необхідно попередньо пом'якшувати. В іншому випадку при регенерації аніоніту в його фазі будуть утворюватися важкорозчинні сполуки, що, в свою чергу, буде сприяти зниженню ємності аніоніту;
- При необхідності одночасного пом'якшення води і очистки її від нітратів пом'якшення обов'язково повинно передувати очищенню від нітратів;

•Неприпустимо здійснювати пом'якшення води і очищення її від нітратів в одному апараті, оскільки при цьому в фазі катіоніту утворюються важкорозчинні сполуки на стадії регенерації, що обумовлює зниження його ємності.

Концентрація нітрат іонів при використанні цього методу може бути знижена більш ніж на 90% .

Робоча обмінна ємність іоніту по нітратам розраховується за формулою, г-екв/дм<sup>3</sup> [36]:

$$E_{NO_3} = 0,64 \cdot \text{ПОЄ} \cdot \frac{C_{NO_3\text{вих.}}}{C_{NO_3\text{вих.}} + C_{SO_4\text{вих.}}}, \quad (2.11)$$

де ПОЄ – повна обмінна ємність катіоніту, г-екв/дм<sup>3</sup>;

$C_{NO_3\text{вих.}}$  – концентрація нітратів у вихідній воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{SO_4\text{вих.}}$  – концентрація сульфатів у вихідній воді, мг/дм<sup>3</sup>.

Розрахунок ємності фільтра, фільтроциклу, кількості солі на регенерацію та кількості регенераційних стоків для установки видалення нітратів визначається так само, як і для системи комплексного очищення води, за формулами 2.7-2.10.

## 2.4 Бальна система диференціальної оцінки забруднення води

Для оцінки якості води з різних джерел, або різних глибин залягання, зручно використовувати бальну систему. В даній системі кожен бал відповідає певному відсотку проб води що не відповідають нормам для питної води згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 Бальна система диференціальної оцінки забруднення підземних вод

Бал	Характеристика
0	100% значень показника якості нижче норми для питної води
1	75-100% значень показника якості нижче норми
2	50-75% значень показника якості нижче норми
3	25-50% значень показника якості нижче норми
4	0-25% значень показника якості нижче норми
5	100% значень показника якості вище норми

### 3 Експериментальна частина

#### 3.1 Виявлення викидів

Викиди були знайдені та відсіяні за допомогою метода описаного в розділі 2.2.2. Задана частка викидів становить 2%. Приклад розподілу даних до та після виключення викидів наведений на рисунку 3.1.

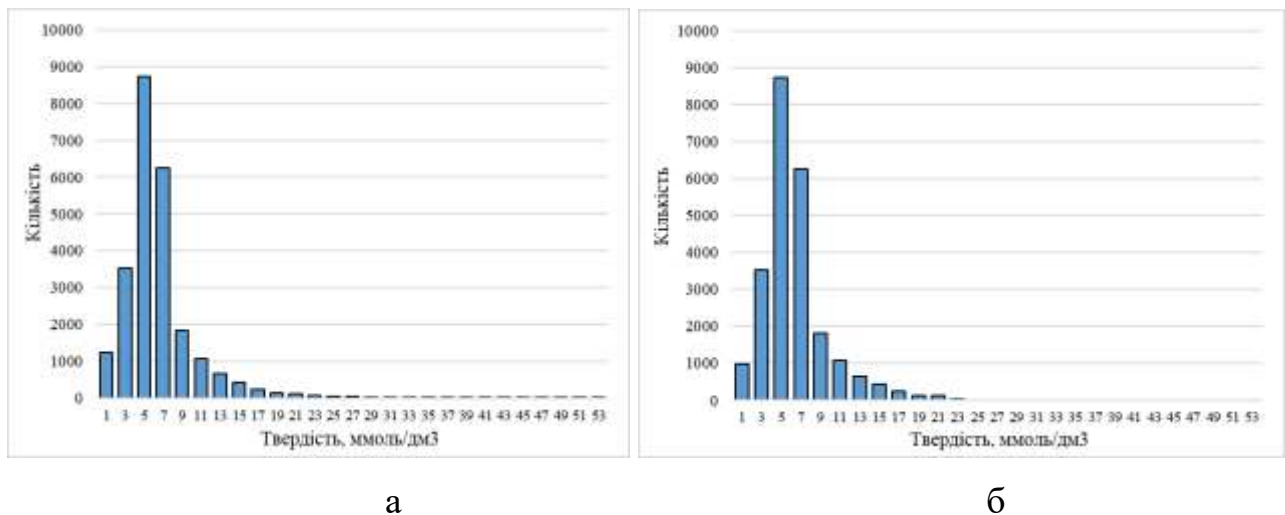


Рисунок 3.1 – Розподіл значень твердості підземних вод до (а) та після (б) виключення викидів.

Отже розмір досліджуваної вибірки даних (після видалення викидів) складає 24 836 аналізів.

#### 3.2 Дескриптивна статистика

Кожен елемент даних (аналіз води) характеризується набором показників якості, та географічними координатами (довгота та широта), а також глибиною залягання свердловини, з якої було відібрано пробу води. У таблиці 3.1 представлена описова статистика досліджуваних даних.

Таблиця 3.1. Описова статистика досліджуваних даних

Показник	Кількість даних	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Стандартне відхилення
Твердість загальна, ммоль/дм <sup>3</sup>	24026	6,08	1,1	18,3	2,996
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	23790	18,62	0,6	262,1	41,53
Солевміст, мг/дм <sup>3</sup>	23783	398,3	48,0	1325	202,98
Кольоровість, град.	21280	13,6	0	49,9	7,52
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	24148	0,832	0,010	7,73	1,25
Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	23522	5,435	0,01	51,4	8,483
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	3698	0,132	0,01	0,72	0,119
Окиснюваність, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3530	1,857	0,1	9,0	1,225

Можна відзначити, що тільки у деяких показників розподіл значень (на всьому діапазоні глибин) близький до нормального розподілу (Розділ 2.2.1), а саме у твердості, загального солевмісту, водневого показника та, в меншій мірі, у кольоровості та окиснюваності.

На рисунку 3.2 наведений розподіл даних по глибині залягання свердловини.

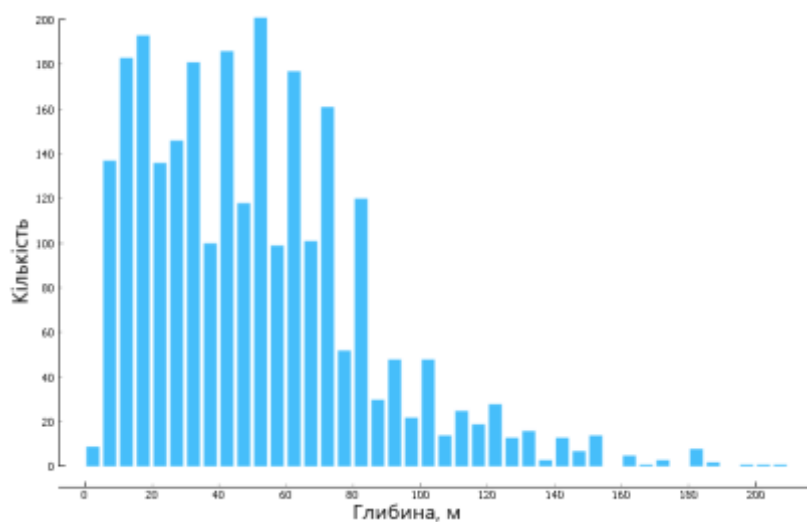


Рисунок 3.2 – Розподіл значень глибини залягання свердловини.

Як видно з рисунку 3.2 переважну частину даних складають проби води, відібрані з свердловин глибиною від 5 до 90 метрів. Максимальна глибина свердловини в представленому наборі даних становить 210 метрів.

Отже досліджувані дані характеризують води декількох водоносних горизонтів, що наявні у Київській області, а саме: четвертинного горизонту (на глибинах 30-50 метрів), харківського горизонту (до 90 метрів), бучацького горизонту (60-120 метрів) та, в меншій мірі, водоносного горизонту сеноман-келовейських відкладів (120-160 метрів), та не характеризують води водоносного горизонту середньоюрських відкладів (170-280 метрів) [38, 39].

Для аналізу взаємозв'язків між параметрами в досліджуваних даних наведемо крос-кореляцію (Таблиця 3.2). Як видно з таблиці 3.2 існує зв'язок між глибиною свердловини і показниками якості води. Найбільш тісний зв'язок між глибиною і вмістом нітратів, загальною твердістю і солевмістом. Також наявний зв'язок між широтою та загальною твердістю і солевмістом.

Таким чином дані таблиць 3.1 і 3.2 показують, що буде доцільним оцінити вплив глибини свердловини на показники якості, а також вплив географічного розташування джерела.

Таблиця 3.2. Значення коефіцієнтів кореляції досліджуваних даних

	Глибина	Широта	Довгота	Окисню- ваність	Кольоро- вість	Залізо	Твер- дість	Марганець	Нітрати	Солев- міст	Каламут- ність
Глибина	1	0,125	0,054	-0,089	-0,009	-0,003	-0,267	-0,108	-0,338	-0,238	0,012
Широта	0,125	1	-0,043	0,011	0,163	0,027	-0,343	-0,017	-0,159	-0,327	-0,005
Довгота	0,054	-0,043	1	0,045	0,18	0,027	0,063	-0,018	-0,049	0,112	0,032
Окисню- ваність	-0,089	0,011	0,045	1	0,069	0,075	0,061	0,197	-0,002	0,042	0,057
Кольоро- вість	-0,009	0,163	0,18	0,069	1	0,2	-0,099	0,017	-0,11	-0,083	0,16
Залізо	-0,003	0,027	0,027	0,075	0,2	1	-0,033	0,179	-0,231	-0,105	0,736
Твердість	-0,267	-0,343	0,063	0,061	-0,099	-0,033	1	0,069	0,453	0,777	0,009
Марганець	-0,108	-0,017	-0,018	0,197	0,017	0,179	0,069	1	-0,041	0,015	0,117
Нітрати	-0,338	-0,159	-0,049	-0,002	-0,11	-0,231	0,453	-0,041	1	0,518	-0,192
Солевміст	-0,238	-0,327	0,112	0,042	-0,083	-0,105	0,777	0,015	0,518	1	-0,064
Каламутність	0,012	-0,005	0,032	0,057	0,16	0,736	0,009	0,117	-0,192	-0,064	1

■ – великі значення від’ємної кореляції; ■ – великі значення додатної кореляції.

### 3.3 Дослідження впливу глибини залягання свердловини на показники якості води

Дані про досліджувані джерела були дискретизовані на 10 типів, в залежності від глибини залягання таким чином, щоб у кожній з груп була максимально близька кількість даних. Таким чином, період дискретизації не є постійним. Він варіюється від 7 до 20 метрів, в залежності від щільності даних.

Середні значення параметрів при різних глибинах залягання порівнювалися за допомогою методу одностороннього дисперсійного аналізу, з використанням рівня значущості 0,1% ( $p < 0,001$ ). Результати статистичного аналізу наведені у вигляді Box-plots (Рисунок 3.3-3.8).

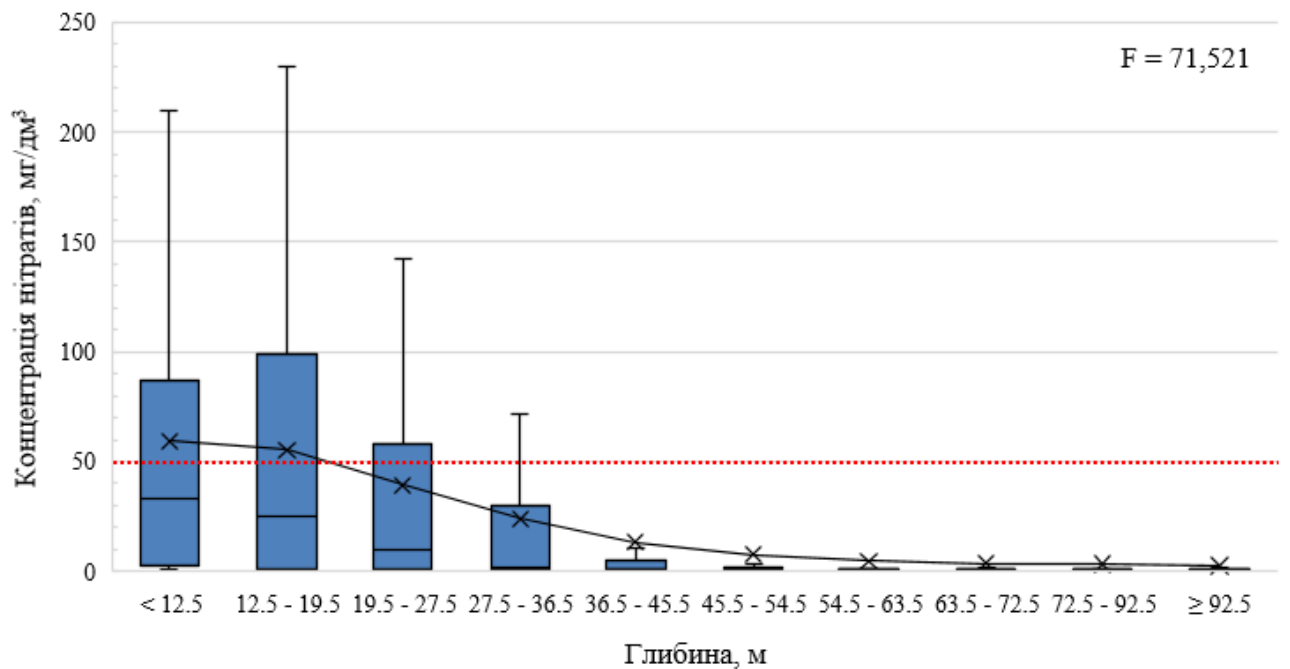


Рисунок 3.3 – Вміст нітратів в підземних водах на різній глибині:

... – нормативне значення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10;

x – середнє значення у групі;

F – значення критерію Фішера, розраховане за методом ANOVA.

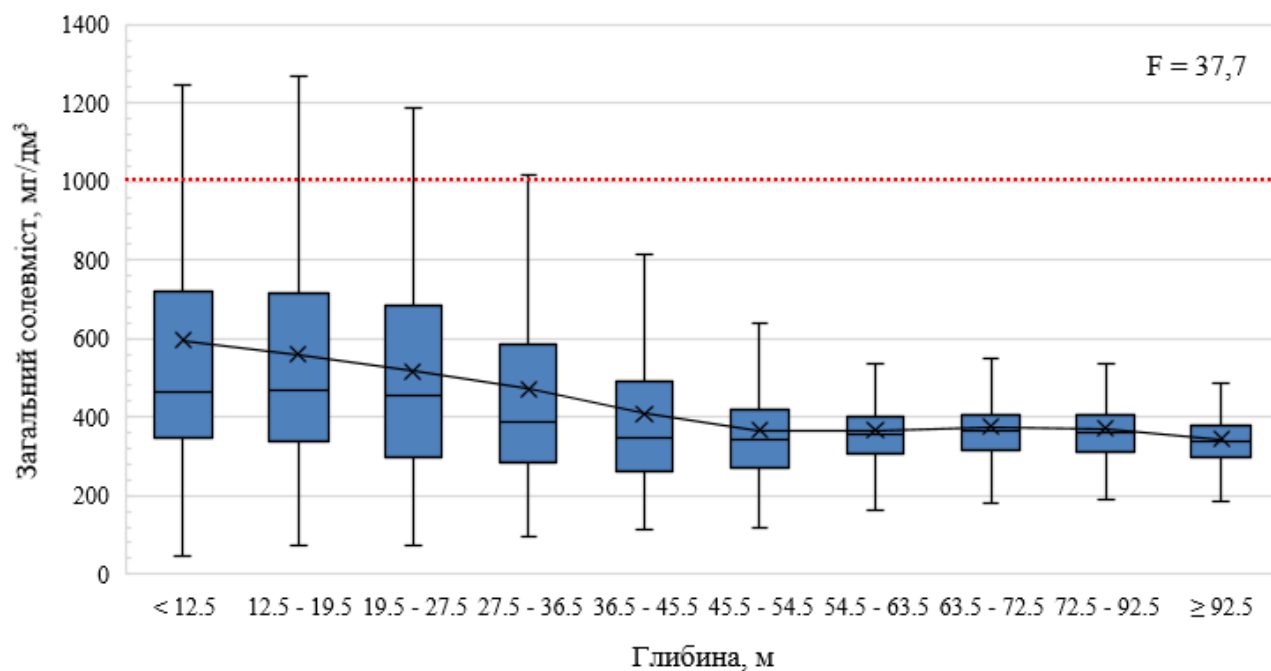


Рисунок 3.4 – Солевміст підземних вод на різній глибині:

... – нормативне значення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10;

× – середнє значення у групі;

F – значення критерію Фішера, розраховане за методом ANOVA.

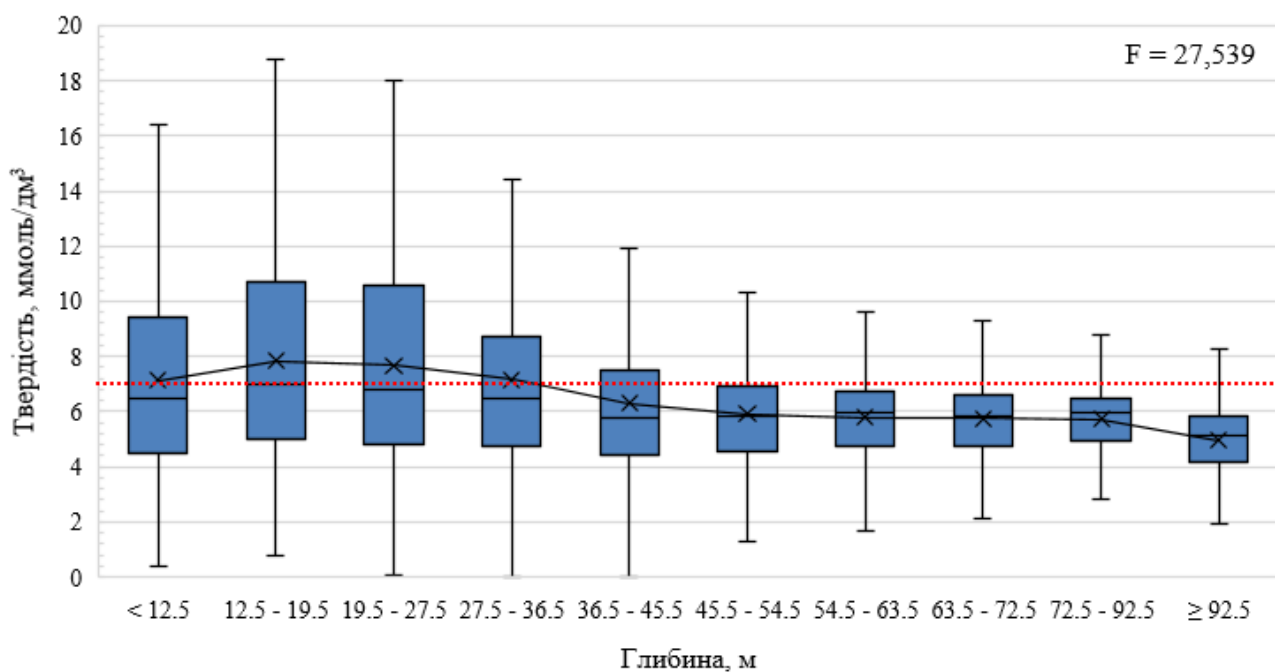


Рисунок 3.5 – Твердість підземних вод на різній глибині:

... – нормативне значення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10;

× – середнє значення у групі;

F – значення критерію Фішера, розраховане за методом ANOVA.



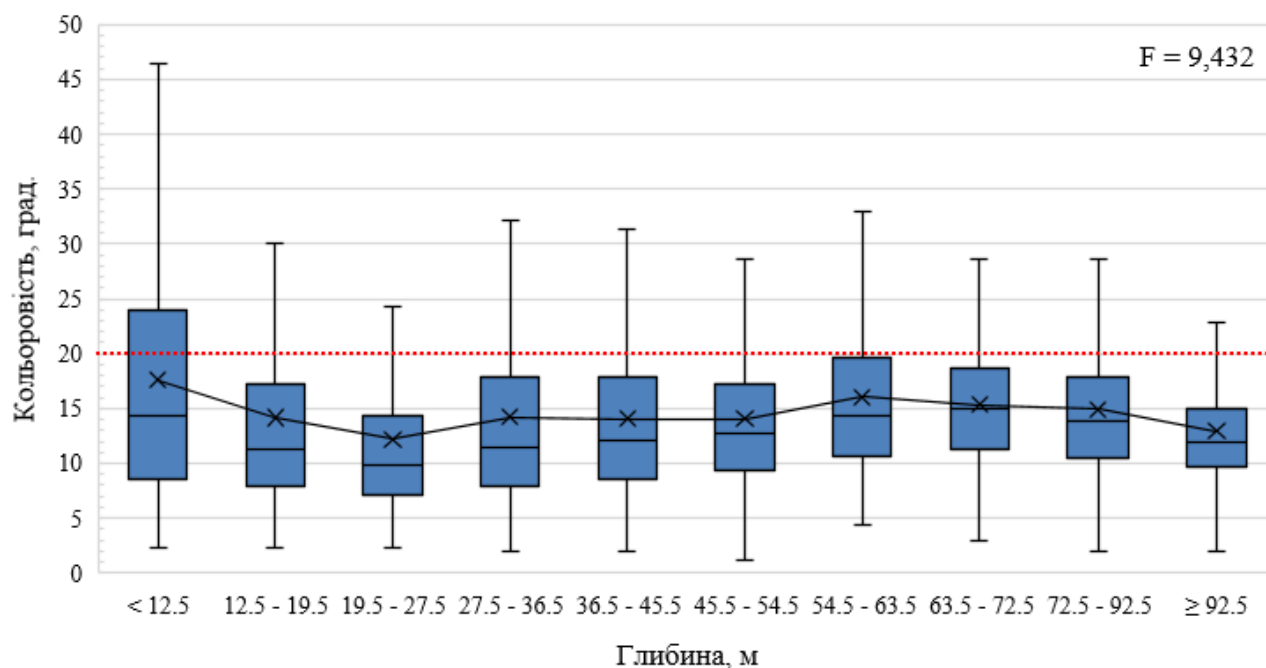


Рисунок 3.6 – Кольоровість підземних вод на різній глибині:

... – нормативне значення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10;

× – середнє значення у групі;

F – значення критерію Фішера, розраховане за методом ANOVA.

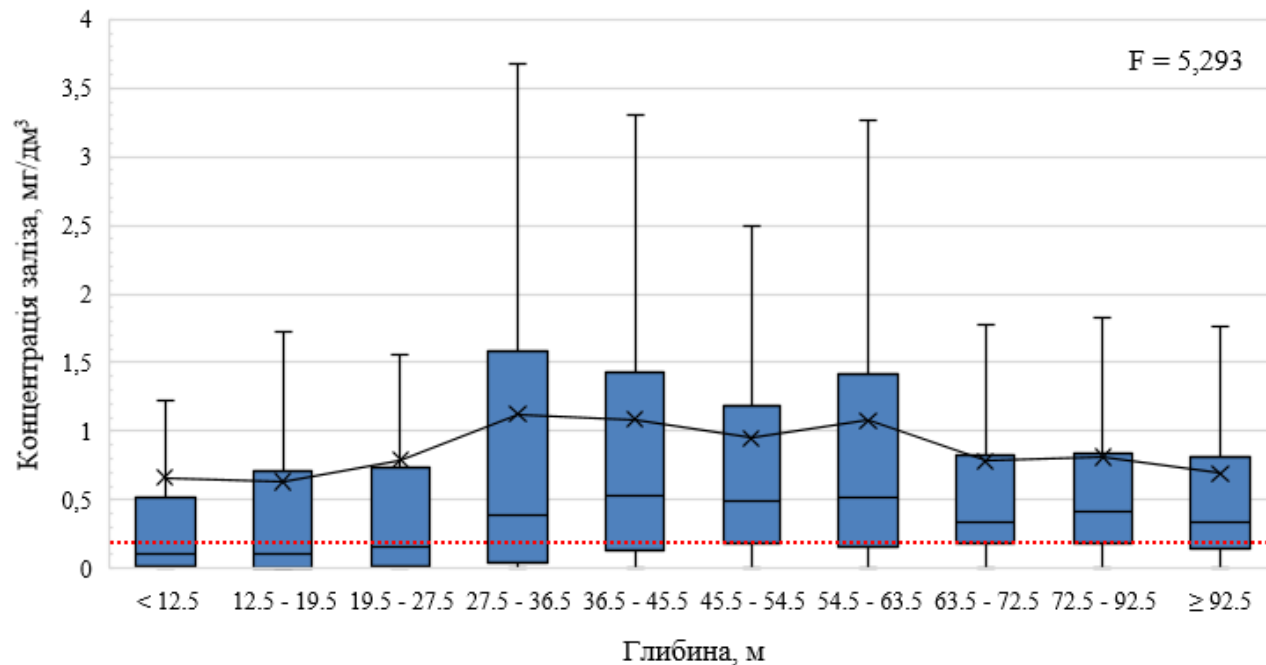


Рисунок 3.7 – Вміст заліза в підземних водах на різній глибині:

... – нормативне значення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10;

× – середнє значення у групі;

F – значення критерію Фішера, розраховане за методом ANOVA.

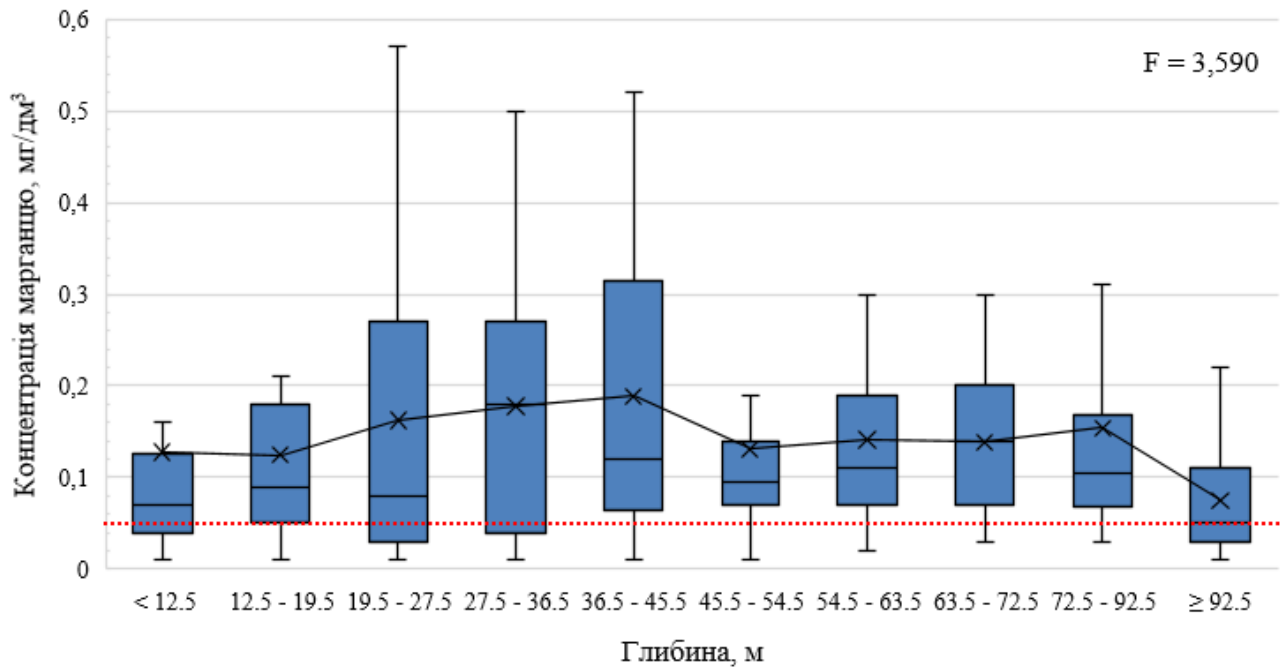


Рисунок 3.8 – Вміст марганцю в підземних водах на різній глибині:

... – нормативне значення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10;

× – середнє значення у групі;

F – значення критерію Фішера, розраховане за методом ANOVA.

Значення критерію Фішера (F) для кожного набору розподілів вище критичного, що свідчить про статистичну значимість результатів зі ступенем достовірності  $p < 0,001$ .

Самий вагомий вплив глибини залягання свердловини на якість підземних вод відстежується для такого параметра як вміст нітратів (Рис. 3.3). Якщо в неглибоких свердловинах (до 27,5 метрів) середнє значення вмісту нітратів перевищує норматив для питної води ( $50 \text{ мг/дм}^3$ ), то вже нижче глибини 36,5 метрів всі значення концентрації нітратів не перевищують  $15 \text{ мг/дм}^3$ . На всьому відрізку значень вміст нітратів знижується зі збільшенням глибини залягання свердловини, що підтверджує існуючі міркування про антропогенну природу даного забруднювача.

Якщо говорити про показник «загальний солевміст», то він також має тенденцію до зменшення зі збільшенням глибини залягання свердловини (Рис. 3.4). Однак перевищення нормативу ( $1000 \text{ мг/дм}^3$ ) спостерігається тільки в

невеликій кількості статистично значимих значень в межах глибин до 27,5 метрів.

Твердість підземних вод також зменшується з глибиною залягання свердловини (Рис. 3.5). Якщо в діапазонах до 12,5; 12,5-19,5; 19,5-27,5 м. верхній кuartиль знаходиться на рівні до 10,5 11,5 ммоль/дм<sup>3</sup>, то нижче 45,5 метрів він знаходиться на рівні 7 ммоль/дм<sup>3</sup> і нижче.

Кольоровість підземних вод зменшується в діапазоні до 27,5 метрів (Рис. 3.6). Уже після 12,5 метрів верхній кuartиль знаходиться нижче нормативну (20 град.).

Вміст заліза навпаки спочатку підвищується зі збільшенням глибини до 36,5 метрів, де спостерігаються максимальні його значення, а далі зменшується (Рис. 3.7). При цьому основна частина значень на всьому проміжку вимірювань значно перевищує встановлений норматив (0,2 мг/дм<sup>3</sup>).

Вміст марганцю також, як правило, перевищує норму (0,05 мг/дм<sup>3</sup>) на всьому діапазоні зміни глибини і також спочатку підвищується зі збільшенням глибини до 36,5 метрів, а далі знижується (Рис. 3.8).

Аналіз рисунків 3.3-3.8 показав, що якщо такі забруднювачі як залізо і марганець зустрічаються в концентраціях, що перевищують норми для питної води практично на будь-якій глибині, то інші досліджувані показники перевищують норми тільки в певних діапазонах глибин.

Таким чином, коли стоїть завдання знайти джерело максимально чистої і придатної для пиття води в конкретному регіоні, або ж мінімізувати експлуатаційні витрати на подальшу водопідготовку необхідно враховувати вплив глибини залягання свердловини на параметри якості підземної води.

#### 3.4 Дослідження впливу географічного розташування джерела на показники якості води

Згідно даних таблиці 3.2 найбільш вагомий вплив зміни географічного розташування відстежується на показники загальної твердості та солевмісту. Оскільки загальний солевміст в підземних водах у Київській області, як правило,

знаходиться в межах норми, увагу буде надано дослідженню впливу географічного розташування на твердість підземних вод.

Згідно методу, описаному в частині 2.2.1, географічні координати було поділено на 130 груп, з кроком 0,175 по довготі та широті.

Далі для кожної групи даних було визначено середнє значення твердості води. Отримані результати наведені на рисунку 3.9.

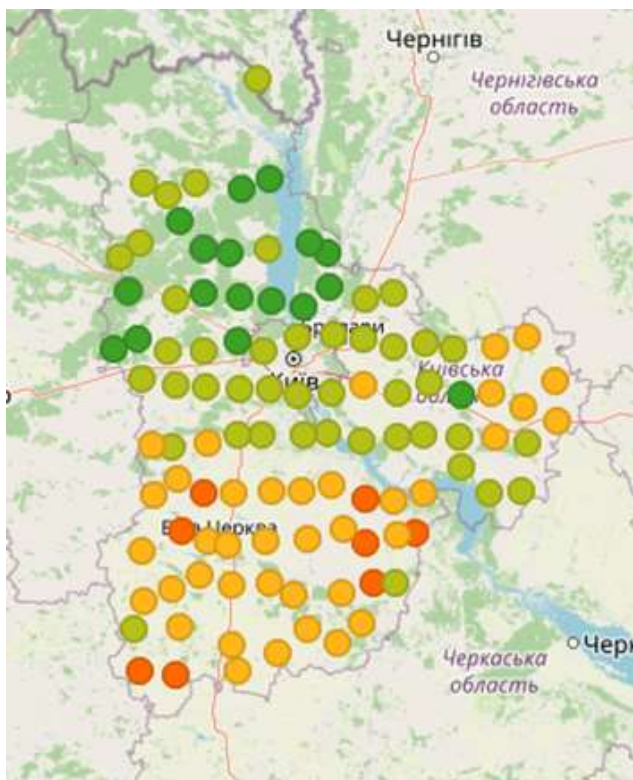


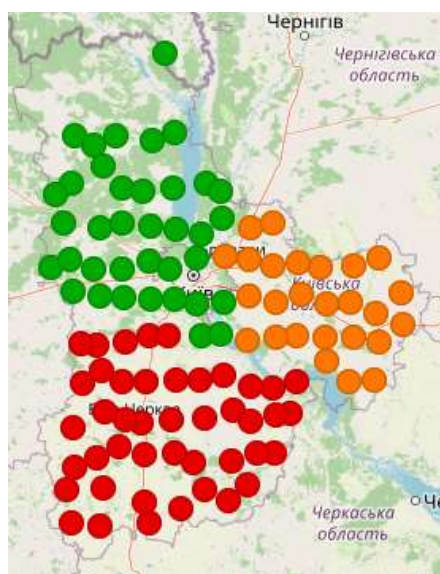
Рисунок 3.9 – Середня твердість підземних вод Київської області:

- – 2,5-5 ммоль/дм<sup>3</sup>, ● – 5-7,5 ммоль/дм<sup>3</sup>, ● – 7,5-10 ммоль/дм<sup>3</sup>,
- – 10-12,5 ммоль/дм<sup>3</sup>.

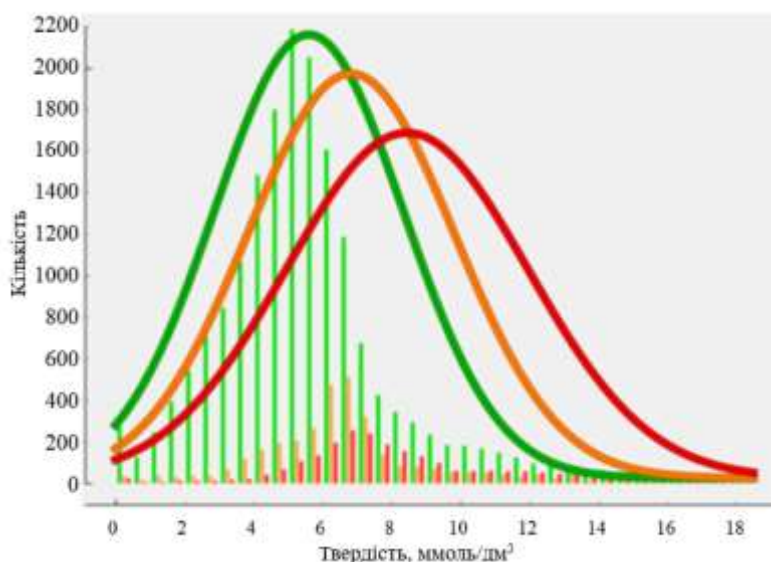
Як можна помітити з рисунку 3.11 твердість підземних вод у Київській області зменшується у напрямку півночі. Якщо у північній частині регіону середні значення знаходяться у межах 2,5-7,5 ммоль/дм<sup>3</sup>, то у південній у межах 7,5-12,5 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Подальша кластеризація даних була проведена за допомогою розділяючого методу ієрархічної кластеризації, який описаний у розділі 2.2.3.

Утворені кластери (зони) наведені на рисунку 3.10.



а



б

Рисунок 3.10 – Утворені зони з різними значеннями твердості підземних вод (а) та розподіл значень загальної твердості у відповідних зонах (б):

■ – північна зона, ■ – східна зона, ■ – південна зона.

Значення середньої твердості підземних вод, та середні відхилення наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Середня твердість підземних вод у виявлених зонах

Зона	Середня твердість, ммоль/дм <sup>3</sup>	Середньоквадратичне відхилення, ммоль/дм <sup>3</sup>
Північна	5,61	2,72
Східна	6,83	2,99
Південна	8,45	3,50

Для оцінки статистичної значущості результатів середні значення твердості води в різних зонах були порівняні за допомогою методу одностороннього дисперсійного аналізу, з використанням рівня значущості 0,1% ( $p < 0,001$ ).

Отже, судячи з даних рисунка 3.10 та таблиці 3.3, в Київській області можна виділити три географічних регіони з суттєвими відмінностями в значеннях твердості підземних вод, а саме: південна частина області з твердістю  $5,6 \pm 2,7$  ммоль/дм<sup>3</sup>, східна частина з твердістю  $6,8 \pm 3,0$  ммоль/дм<sup>3</sup>, та північна частина з твердістю  $8,5 \pm 3,5$  ммоль/дм<sup>3</sup>.

Оскільки, як було доведено у попередній частині цього розділу, твердість підземних вод також суттєво змінюється зі збільшенням глибини залягання свердловини. Тобто для побудови більш повної моделі якості підземних вод у Київській області необхідно врахувати вплив глибини свердловини на значення загальної твердості підземних вод у кожній зоні.

### 3.5 Загальна модель якості підземних вод Київської області

Як вже було доведено, на якість підземних вод впливає як глибина залягання свердловини, так і географічне розташування джерела. В той час як перший фактор здійснює значний вплив на більшість параметрів якості води, географічне розташування джерела суттєво впливає на твердість води. При чому саме показник загальної твердості є основним параметром якості підземних вод який впливає на витрати на організацію локальної системи очищення води, в Київській області (детальніше це буде розглянуто у розділі 4).

Для дослідження впливу глибини на значення твердості у кожній зоні, було проведено роботу аналогічно з дослідженням у частині 3.3. Дані про досліджувані джерела були дискретизовані на 10 типів, в залежності від глибини залягання свердловини.

Результати представлені на рисунку 3.11 у вигляді Box-plots. На рисунку 3.12 представлені середні значення твердості на різних проміжках глибин.

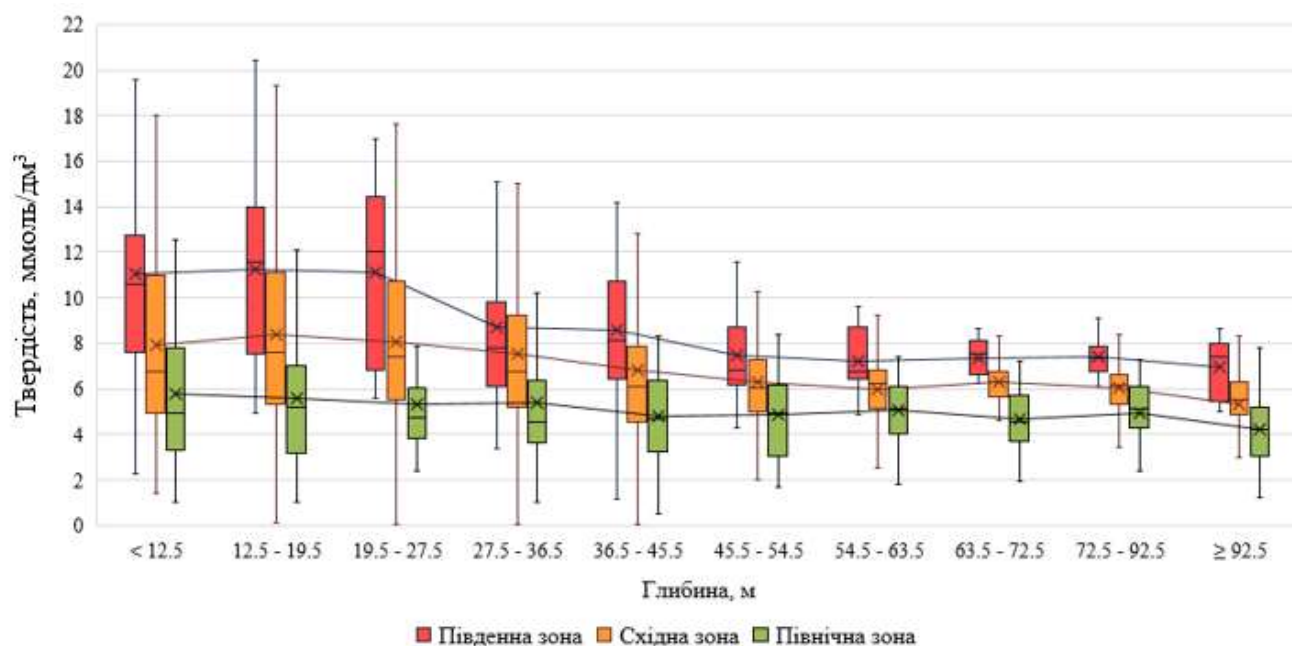


Рисунок 3.11 – Твердість підземних вод на різній глибині та в різних зонах:

× – середнє значення твердості у групі.

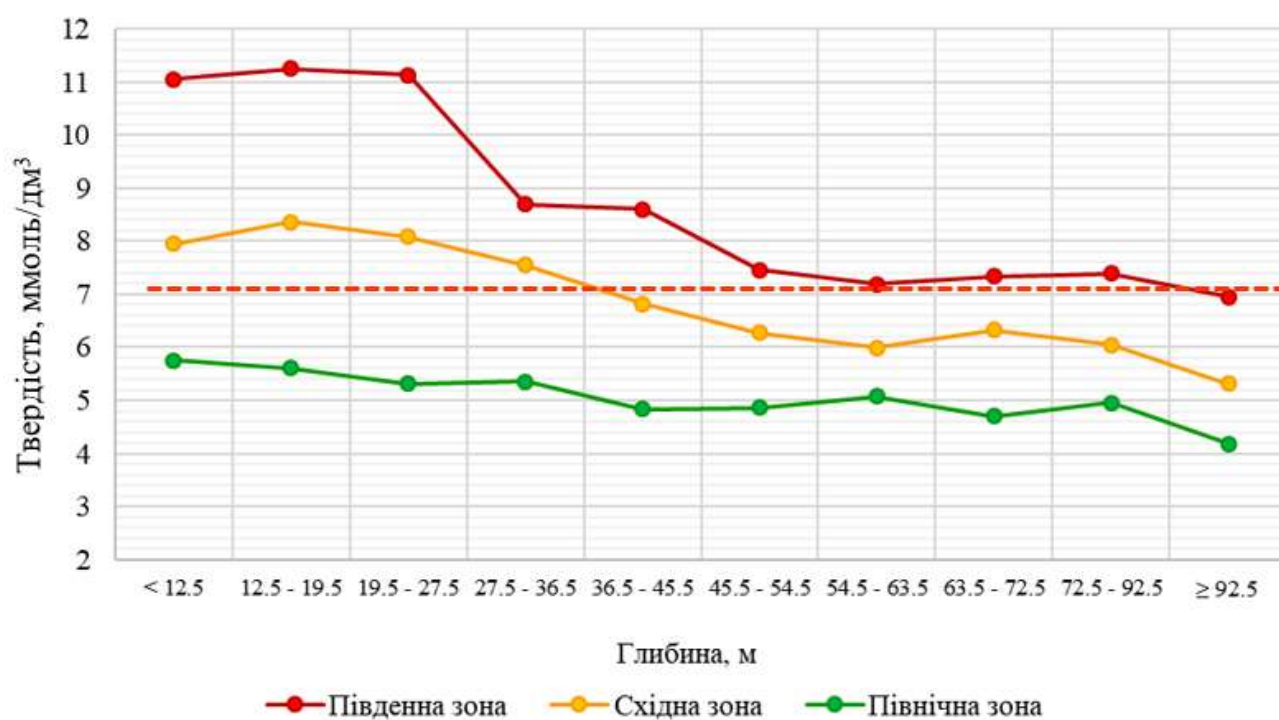


Рисунок 3.12 – Середні значення твердості підземних вод на різній глибині та в різних зонах:

... – нормативне значення згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Як видно з рисунків 3.11 та 3.12 у кожній з виявлених зон твердість підземних вод зменшується зі збільшенням глибини залягання свердловини. У південній зоні спостерігається максимальні середні значення твердості (11,0-11,2 ммоль/дм<sup>3</sup>) на діапазоні глибин вище 27,5 метрів. Після 27,5 метрів твердість значно знижується до середніх значень 7,2-7,4 ммоль/дм<sup>3</sup> при глибині від 54,5 метрів.

У східному регіоні середні значення твердості знижуються від 8,0-8,4 ммоль/дм<sup>3</sup> до 5,3 ммоль/дм<sup>3</sup>, а у південному від 5,7 ммоль/дм<sup>3</sup> до 4,2 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Таким чином, як було доведено у розділах 3.3-3.5, знаючи глибину залягання свердловини та її географічне розташування можливо спрогнозувати її якість за індикаторними показниками (Таблиці 3.4-3.5).

Таблиця 3.4 Середні значення та стандартні відхилення ( $\sigma$ ) індикаторних показників якості підземних вод на різній глибині

Глибина, м	Показник									
	Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>		Кольоровість, град.		Солевміст, мг/дм <sup>3</sup>		Марганець, мг/дм <sup>3</sup>		Залізо, мг/дм <sup>3</sup>	
	Сер. зн.	$\sigma$	Сер. зн.	$\sigma$	Сер. зн.	$\sigma$	Сер. зн.	$\sigma$	Сер. зн.	$\sigma$
< 12.5	55,05	63,37	16,4	11,3	505,5	273,8	0,135	0,163	0,57	1,15
12.5 - 19.5	51,73	64,81	12,7	7,8	531,1	288,7	0,116	0,051	0,56	1,00
19.5 - 27.5	39,48	57,45	12,1	7,5	504,9	276,1	0,183	0,180	0,77	1,45
27.5 - 36.5	23,70	43,89	13,8	8,4	458,7	255,0	0,180	0,135	1,13	1,59
36.5 - 45.5	11,52	29,17	14,0	7,3	407,1	224,7	0,194	0,159	1,20	1,57
45.5 - 54.5	8,87	26,96	13,9	6,9	369,7	162,2	0,130	0,108	0,95	1,19
54.5 - 63.5	5,88	22,72	15,7	7,5	366,3	123,2	0,139	0,090	0,94	1,18
63.5 - 72.5	3,37	13,28	16,0	6,0	368,1	120,5	0,155	0,069	0,83	1,20
72.5 - 92.5	4,02	15,26	14,6	6,2	375,6	123,1	0,160	0,132	0,77	1,10
$\geq 92.5$	2,16	5,15	13,1	5,2	341,8	111,6	0,075	0,057	0,68	0,97



Таблиця 3.5 Середні значення та стандартні відхилення ( $\sigma$ ) твердості підземних вод у різних географічних зонах на різній глибині, ммоль/дм<sup>3</sup>

Глибина, м	Географічна зона					
	Південна зона		Східна зона		Північна зона	
	Середнє значення	$\sigma$	Середнє значення	$\sigma$	Середнє значення	$\sigma$
< 12.5	11,05	3,38	7,94	3,72	5,75	3,62
12.5 - 19.5	11,25	3,44	8,36	3,91	5,61	3,38
19.5 - 27.5	11,13	3,88	8,09	3,79	5,31	2,42
27.5 - 36.5	8,69	3,68	7,55	3,47	5,36	2,93
36.5 - 45.5	8,61	3,46	6,82	3,48	4,83	2,28
45.5 - 54.5	7,56	1,92	6,18	2,29	4,86	2,12
54.5 - 63.5	7,10	1,28	6,17	2,19	5,08	1,41
63.5 - 72.5	7,34	1,86	6,33	1,79	4,70	1,45
72.5 - 92.5	7,39	0,94	6,05	1,32	4,95	1,40
$\geq 92.5$	6,96	1,37	5,32	1,52	4,19	1,29

Для диференціальної оцінки якості артезіанських вод на різній глибині та в різних зонах використаємо бальну систему, яка запропонована та описана в розділі 2.4.

Таким чином сума балів за всіма показниками на певній глибині (Таблиця 3.6) характеризує загальну якість артезіанської води на даній глибині за всіма показниками і чим нижче значення цієї величини, тим якість води вище.

Таблиця 3.6 Диференціальна оцінка забруднення підземних вод на різній глибині у різних географічних зонах (Пн – північна зона, С – східна зона, Пд – південна зона)

	Глибина, м																													
	< 12.5			12.5 - 19.5			19.5 - 27.5			27.5 - 36.5			36.5 - 45.5			45.5 - 54.5			54.5 - 63.5			63.5 - 72.5			72.5 - 92.5			≥ 92.5		
Зона	пн	с	пд	пн	с	пд	пн	с	пд	пн	с	пд	пн	с	пд	пн	с	пд	пн	с	пд	пн	с	пд	пн	с	пд	пн	с	пд
Показник																														
Жорсткість	4	2	2	4	3	2	3	3	1	3	2	1	3	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1
Нітрати	2			2			2			1			0			0			0			0			0			0		
Солевміст	1			1			1			1			0			0			0			0			0			0		
Кольоровість	2			1			1			1			1			1			1			1			1			1		
Марганець	3			4			3			3			4			4			4			4			4			2		
Залізо	2			2			2			3			3			3			3			3			3			3		
Загальна оцінка	14	12	12	14	13	12	12	12	10	12	11	10	11	10	9	10	10	9	10	9	9	10	9	9	10	9	9	8	7	7

Відповідно до результатів досліджень використання артезіанської води з будь-якого рівня залягання в якості питної передбачає її обов'язкове очищення до встановлених вимог на локальних установках. Стадійність, а отже, і ціна

установок очищення залежить від складу вихідної води. Так для очищення води, якість якої оцінюється 11-14 балами, необхідно використовувати 3-х стадійну установку очищення води, що включає стадію механічної очистки, стадію іонного обміну, для видалення нітратів і стадію очищення від іонів твердості, заліза і марганцю на комплексному фільтруючому завантаженні. У той же час вода з оцінкою 7-10 балів може бути очищена до рівня питної на одностадійній установці комплексного очищення, що істотно зменшує як капітальні, так і експлуатаційні витрати.

Для мінімізації витрат на організацію децентралізованого джерела питної води необхідно провести техніко-економічні розрахунки базуючись на інформації про якість води у різних частинах регіону та на різній глибині залягання.

#### 4 Техніко-економічні розрахунки

Для розробки свердловини та очищення підземних вод до норм питної води необхідні як капітальні так і експлуатаційні витрати.

Капітальними витратами є:

- витрати на буріння свердловини;
- витрати на оснащення свердловини;
- витрати на установку локальної системи водоочищення.

Тоді як експлуатаційними витратами є:

- витрати на заміну фільтруючого матеріалу;
- витрати на регенерацію фільтруючого матеріалу;
- амортизаційні нарахування на обладнання.

Серед зазначених витрат більшість залежать від якості вихідної води, та, як наслідок, від глибини залягання свердловини. Так, при збільшенні глибини залягання свердловини, збільшуються витрати на її буріння, проте зменшуються витрати на установку системи очищення води та зменшуються експлуатаційні витрати.

##### 4.1 Техніко-економічні розрахунки розробки джерела артезіанської води

У таблиці 4.1 представлений кошторис на облаштування типової свердловини, який включає витрати на обладнання, матеріали та монтажні роботи.

Таблиця 4.1 Кошторис на облаштування свердловини [40]

№	Необхідні матеріали:	Одиниці виміру	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5	6
1	Насос Водолій БЦПЄ 0,5-80	шт.	1	5490,00	5490,00
2	Оголовок свердловини герметичний 125*32	шт.	1	462,00	462,00
3	Трос оцинкований в силіконовому оплетінні	м/пог	40	12,80	512,00
4	Зажим двійний з нержавіючої сталі	шт.	4	30,00	120,00
5	Труба питна d32*2,0 мм поліетиленова	м/пог	40	16,40	656,00
6	Зворотній клапан d1	шт.	1	320,00	320,00
7	Запірна арматура	шт.	1	250,00	250,00
8	Кільця бетонні 0,8м	шт.	2	500,00	1000,00

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
9	Кришка для кілець бетонна 0,8м	шт.	1	450,00	450,00
10	Люк садовий 1т	шт.	1	490,00	490,00
11	Фільтр поліпропіленового напилення	м/пог	3	500,00	1500,00
12	Розхідні матеріали для облаштування		1	250,00	250,00
Разом за матеріали та обладнання					11500,00
№	Види робіт з облаштування свердловини	Одиниці виміру	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
1	Земляні роботи по облаштуванню ревізійного колодязя	шт.	1	700,00	700,00
2	Доставка кілець маніпулятором	шт.	1	700,00	700,00
3	Спуск кілець вручну	шт.	2	150,00	300,00
4	Монтаж бетонних кілець, кришки для люка	шт.	4	50,00	200,00
5	Монтаж насосного обладнання	шт.	1	1500,00	1500,00
6	Пускові та налагоджувальні роботи	шт.	1	250,00	250,00
Разом за роботи з облаштування					3650,00
Разом за матеріали та роботи з облаштування					15150,00

Окрім зазначених витрат на облаштування свердловини є витрати на буріння, які залежать від глибини свердловини і складають 330 грн. за кожний метр буріння. Таким чином капітальні витрати на буріння свердловини можна представити у вигляді графіку залежності витрат від обраної глибини залягання (Рис 4.1).

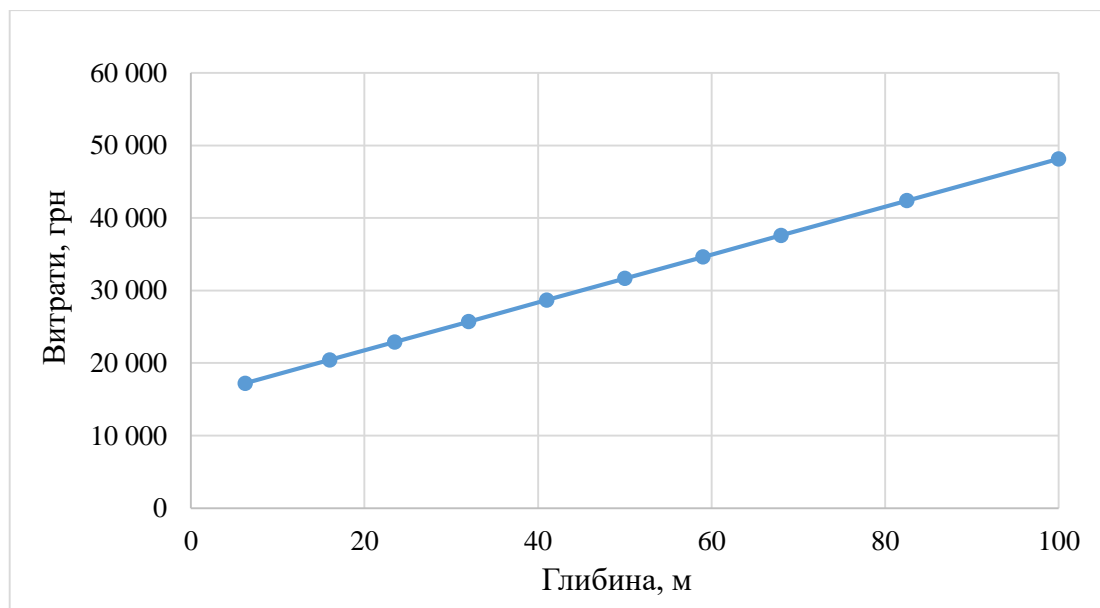


Рисунок 4.1 – Капітальні витрати на облаштування свердловини

Отже, як видно з рисунку 4.1 витрати на облаштування свердловини суттєво залежать від її глибини залягання.

#### 4.2 Техніко-економічні розрахунки локальної системи очищення води

Локальна система очищення води складається з кількох послідовних стадій: механічна очистка, фільтр комплексної очистки з завантаженням Ecomix та стадія іонного обміну для видалення нітратів. Механічна очистка та очистка на фільтрі з комплексним завантаженням є обов'язковими стадіями для більшості підземних джерел водопостачання не залежно від глибини залягання свердловини та її географічного розташування. Проте, стадія видалення нітратів необхідна лише при використанні свердловини глибиною залягання до 36,5 метрів.

Нижче наведені результати розрахунків для різних локальних систем очищення. Річне водоспоживання складає 730 м³/рік, що відповідає потребам домогосподарства з 4-х людей, що мешкають у приватному будинку [11].

Таблиця 4.2 Кошторис на обладнання для очищення води [12, 41]

№	Необхідне обладнання:	Одиниці виміру	Кількість	Ціна, грн
1	Колба механічного очищення Ecosoft BB20 1"	шт.	1	1649
2	Фільтр знезалізнення та пом'якшення води Ecosoft FK1252CEMIXA	шт.	1	32199
3	Clack WS1 CI клапан управління по витраті	шт.	1	9541
4	Балон 8 х 44 NAT W/BASE	шт.	1	2349
5	Соляний бак в зборі BTR-70	шт.	1	1827
Разом за обладнання				47 565

Витрати на амортизацію обладнання, при періоді експлуатації 10 років:

$$A_{об} = \frac{B}{T}, \quad (4.1)$$

де  $A_{об}$  – амортизаційні відрахування на обладнання;

$B$  – витрати на обладнання;

$T$  – період експлуатації обладнання:

$$A_{об} = \frac{47\,565}{10} = 4\,756,5 \text{ грн/рік.}$$

Таблиця 4.3 Кошторис на матеріали для очищення води [12, 41]

№	Необхідні матеріали	Одиниці виміру	Кількість	Ціна, грн	Період роботи матеріалу	Річні витрати на матеріал
1	Картридж зі спіненого поліпропілену Ecosoft 4,5"x20" 20 мкм	Шт	1	239	40 діб	2 180,9
2	Фільтруючий матеріал Ecomix A	25 дм3	50	6530	5 років	2 612
3	Аніоніт для видалення нітратів DOWEX SBR	25 дм3	50	9077	5 років	3 630,8
Разом за матеріали						8 423,7

Окрім витрат на обладнання та матеріали для локальної системи очищення води є експлуатаційні витрати на регенерацію іоннообмінних смол розчином хлориду натрію концентрацією 8-10%. Ціна регенеруючого агенту складає 11,96 грн/кг [12]. Експлуатаційні витрати на одну регенерацію є постійними та залежать від кількості та типу обраної смоли, проте кількість регенерацій на рік, при постійному об'ємі водокористування, залежить від якості вихідної води, а саме від кількості солей твердості та нітратів. А, як пояснювалось в попередніх розділах, ці величини різні у різних географічних зонах та на різних глибинах залягання свердловини. В таблиці 4.4 наведений розрахунок річних експлуатаційних витрат на регенерацію для води з різних глибин залягання та у різних географічних зонах.

Таблиця 4.4 Річні експлуатаційні витрати на регенерацію іонообмінних смол для очищення води у різних географічних зонах на різній глибині

Географічна зона	Глибина, м	Твердість, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	Річна кількість регенерацій		Річні витрати на регенерацію, грн		Разом, грн
				Еcomix	Аніоніт	Еcomix	Аніоніт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Південна	< 12.5	11,05	59,4	230	66	13754	2467	16221
	12.5 - 19.5	11,25	55,5	235	63	14053	2355	16408
	19.5 - 27.5	11,13	39,2	232	51	13874	1906	15780
	27.5 - 36.5	8,69	24	181	40	10824	1495	12319
	36.5 - 45.5	8,61	0	179	0	10704	0	10704
	45.5 - 54.5	7,56	0	158	0	9448	0	9448
	54.5 - 63.5	7,10	0	148	0	8850	0	8850
	63.5 - 72.5	7,34	0	153	0	9149	0	9149
	72.5 - 92.5	7,39	0	154	0	9209	0	9209
	≥ 92.5	6,96	0	145	0	8671	0	8671

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Східна	< 12.5	7,94	59,4	166	66	9927	2467	12394
	12.5 - 19.5	8,36	55,5	174	63	10405	2355	12760
	19.5 - 27.5	8,09	39,2	169	51	10106	1906	12013
	27.5 - 36.5	7,55	24	157	40	9389	1495	10884
	36.5 - 45.5	6,82	0	142	0	8492	0	8491
	45.5 - 54.5	6,18	0	129	0	7714	0	7714
	54.5 - 63.5	6,17	0	129	0	7714	0	7714
	63.5 - 72.5	6,33	0	132	0	7894	0	7893
	72.5 - 92.5	6,05	0	126	0	7535	0	7534
	≥ 92.5	5,32	0	111	0	6638	0	6637
Північна	< 12.5	5,75	59,4	120	66	7176	2467	9643
	12.5 - 19.5	5,61	55,5	117	63	6997	2355	9351
	19.5 - 27.5	5,31	39,2	111	51	6638	1906	8544
	27.5 - 36.5	5,36	24	112	40	6698	1495	8192
	36.5 - 45.5	4,83	0	101	0	6040	0	6039
	45.5 - 54.5	4,86	0	101	0	6040	0	6039
	54.5 - 63.5	5,08	0	106	0	6339	0	6338
	63.5 - 72.5	4,70	0	98	0	5860	0	5860
	72.5 - 92.5	4,95	0	103	0	6159	0	6159
	≥ 92.5	4,19	0	87	0	5203	0	5203

Таким чином річні експлуатаційні витрати на локальну систему очищення води можемо визначити за формулою:

$$B_{\text{лсо}} = A_{\text{об}} + B_{\text{мат}} + B_{\text{рег}}, \quad (4.2)$$

де  $A_{\text{об}}$  – амортизаційні нарахування на обладнання, грн/рік;

$B_{\text{мат}}$  – експлуатаційні витрати на матеріали для очищення води, грн/рік;

$B_{\text{рег}}$  – експлуатаційні витрати на регенерацію, грн/рік.

Експлуатаційні витрати на локальну систему для очищення води з різних глибин залягання представлені в таблиці 4.5 та на рисунку 4.2.

Таблиця 4.5 Річні експлуатаційні витрати на локальну систему для очищення води у різних географічних зонах на різній глибині

Глибина, м	Річні витрати на амортизацію, грн	Річні витрати на матеріали, грн	Річні витрати на регенерацію, грн			Разом, грн		
			Південна зона	Східна зона	Північна зона	Південна зона	Східна зона	Північна зона
< 12.5	4756,5	8424	16221	12394	9643	29401	25574	22823
12.5 - 19.5	4756,5	8424	16408	12760	9352	29588	25940	22532
19.5 - 27.5	4756,5	8424	15780	12013	8544	28960	25193	21724
27.5 - 36.5	4756,5	8424	12319	10884	8193	25499	24064	21373
36.5 - 45.5	3384,8	4793	10704	8492	6040	18882	16669	14217
45.5 - 54.5	3384,8	4793	9448	7714	6040	17626	15892	14217
54.5 - 63.5	3384,8	4793	8850	7715	6339	17028	15892	14516
63.5 - 72.5	3384,8	4793	9149	7894	5860	17327	16071	14038
72.5 - 92.5	3384,8	4793	9209	7535	6159	17387	15712	14337
≥ 92.5	3384,8	4793	8671	6638	5203	16849	14815	13380

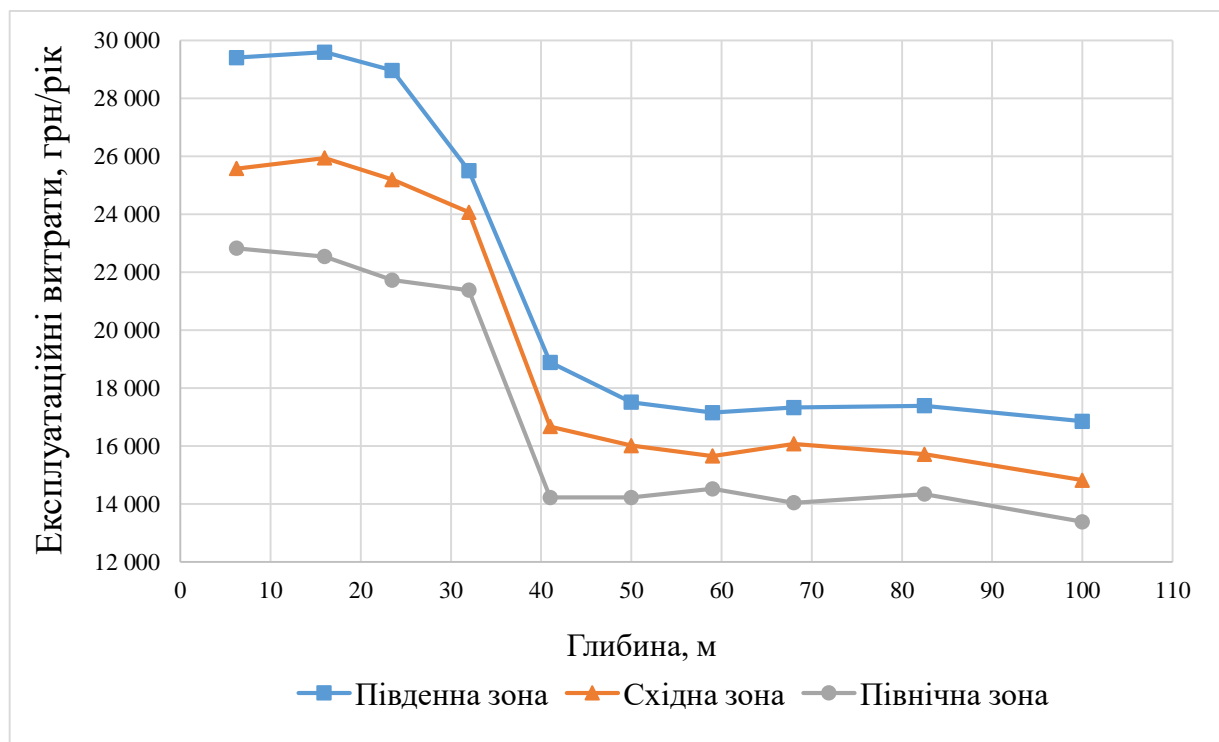


Рисунок 4.2 – Річні експлуатаційні витрати на локальну систему очищення води у різних географічних зонах на різній глибині

Отже, як видно з рисунку 4.2, річні експлуатаційні витрати на локальну систему очищення води можуть складати від 13 400 грн/рік до 29 600 грн/рік в залежності від географічної зони та, особливо, від глибини залягання свердловини.



#### 4.3 Загальні витрати на розробку джерела артезіанської води та її очищення

Як видно з рисунків 4.1 та 4.2 при збільшенні глибини залягання свердловини зростають витрати на облаштування свердловини та зменшуються витрати на очищення води. Для визначення оптимальної глибини залягання необхідно просумувати ці статті витрат (Таблиця 4.6).

Для порівняння витрат на очищення води у різних зонах та з різних глибин розрахуємо собівартість води за формулою:

$$C_{\text{води}} = \frac{B_{\text{ЛСО}} + A_{\text{св}}}{Q_{\text{води}}}, \quad (4.3)$$

де  $C_{\text{води}}$  – собівартість води, грн/м<sup>3</sup>;

$B_{\text{ЛСО}}$  – експлуатаційні витрати на локальну систему очищення води, грн/рік;

$A_{\text{св}}$  – річні амортизаційні нарахування на облаштування свердловини, грн/рік;

$Q_{\text{води}}$  – річне водоспоживання, м<sup>3</sup>/рік.

Таблиця 4.6 Загальні витрати на розробку джерела артезіанської води та її очищення у різних географічних зонах на різній глибині

Географічна зона	Глибина, м	Річні витрати на очищення води, грн/рік	Річні витрати на облаштування свердловини (Амортизація), грн/рік	Разом, грн/рік	Собівартість 1 м <sup>3</sup> очищеної води
1	2	3	4	5	6
Південна	< 12.5	29401	1721	31123	42,06
	12.5 - 19.5	29588	2043	31631	42,74
	19.5 - 27.5	28960	2291	31251	42,23
	27.5 - 36.5	25499	2571	28070	37,93
	36.5 - 45.5	18882	2868	21750	29,39
	45.5 - 54.5	17626	3165	20791	28,1
	54.5 - 63.5	17028	3462	20490	27,69
	63.5 - 72.5	17327	3759	21086	28,49
	72.5 - 92.5	17387	4238	21624	29,22
	≥ 92.5	16849	4815	21664	29,28

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6
Східна	< 12.5	25574	1721	27295	36,89
	12.5 - 19.5	25940	2043	27983	37,82
	19.5 - 27.5	25193	2291	27483	37,14
	27.5 - 36.5	24064	2571	26635	35,99
	36.5 - 45.5	16669	2868	19537	26,4
	45.5 - 54.5	15892	3165	19057	25,75
	54.5 - 63.5	15892	3462	19354	26,15
	63.5 - 72.5	16071	3759	19830	26,8
	72.5 - 92.5	15712	4238	19950	26,96
	≥ 92.5	14815	4815	19630	26,53
Північна	< 12.5	22823	1721	24545	33,17
	12.5 - 19.5	22532	2043	24575	33,21
	19.5 - 27.5	21724	2291	24015	32,45
	27.5 - 36.5	21373	2571	23944	32,36
	36.5 - 45.5	14217	2868	17085	23,09
	45.5 - 54.5	14217	3165	17382	23,49
	54.5 - 63.5	14516	3462	17978	24,3
	63.5 - 72.5	14038	3759	17797	24,05
	72.5 - 92.5	14337	4238	18575	25,1
	≥ 92.5	13380	4815	18195	24,59

На рисунку 4.3 представлена собівартість 1 м<sup>3</sup> очищеної води з різних глибин у різних географічних зонах.

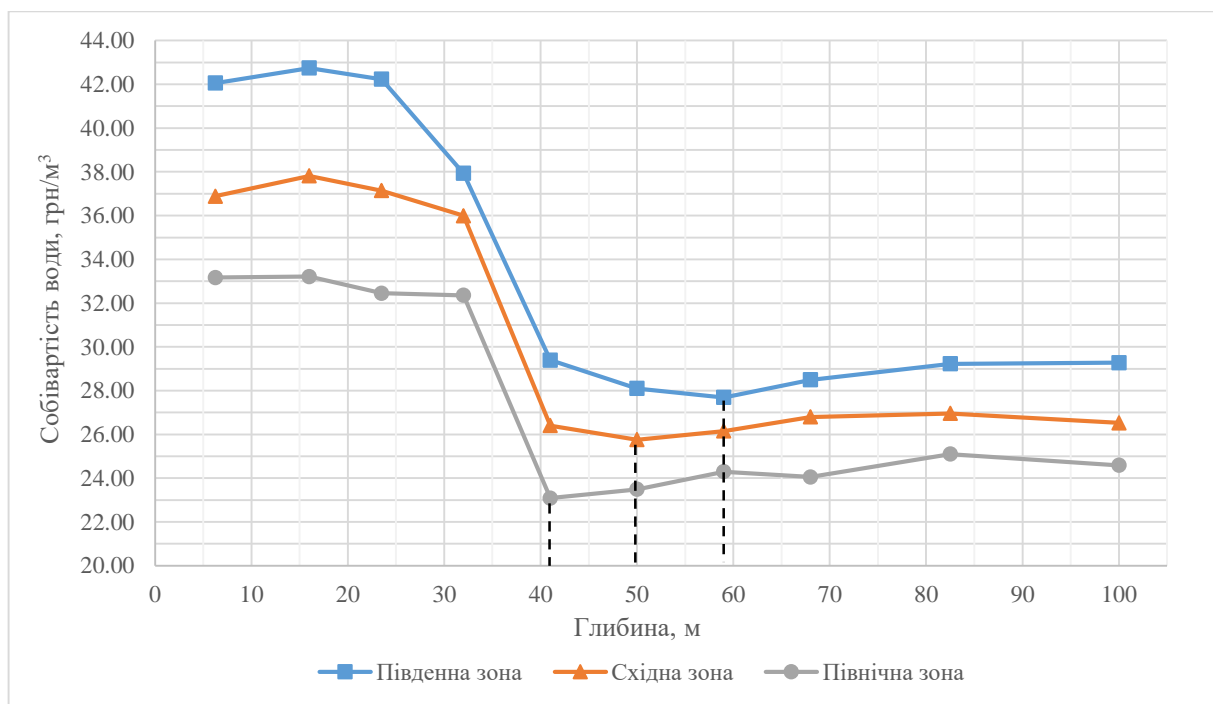


Рисунок 4.3 – Залежність собівартості 1 м<sup>3</sup> очищеної води від глибини свердловини у різних географічних зонах.

Отже, як видно з рисунку 4.3 найменша собівартість очищеної води у кожній географічній зоні відзначається на різних глибинах, а саме 41, 50 та 58 метрів для північної, східної та південної зон, відповідно. Для південної зони мінімальні витрати на очищення води (27,7 грн/м<sup>3</sup>) спостерігаються при розробці артезіанської свердловини глибиною залягання 58 метрів, для східної зони – 25,8 грн/м<sup>3</sup> при глибині 50 метрів, для північної зони – 23,1 грн/м<sup>3</sup> при глибині 41 метр.

## 5 Оцінка ринкових можливостей реалізації розробки

### 5.1 Загальний опис стартап-проєкту

У таблиці 5.1 наведені основна характеристика та економічні параметри розробки.

Таблиця 5.1 – Резюме проєкту

Показник	Характеристика
1	2
Суть ідеї	Розробка програмного забезпечення (ПЗ) для прогнозування якості підземних вод на основі аналізу баз даних
Наявність аналогів або прототипів ідеї	На ринку відсутні аналоги та прототипи у вигляді ПЗ. Функції ПЗ можуть виконуватись спеціалістами за допомогою програм аналізу баз даних
Потреба, яку задовольнить реалізований проєкт	Стартап задовольняє потребу виробників, постачальників та користувачів локальних систем водоочищення у інформації про якість води для оптимізації роботи обладнання та мінімізації витрат на очищення води
Рівень розробленості технології для реалізації	Розроблений та запрограмований математичний метод для аналізу баз даних моніторингів якості води, реалізовано приклад програмного розрахунку для Київської області (Розділ 3) та техніко-економічних розрахунків мінімізації витрат на очищення води при організації децентралізованого джерела водопідготовки (Розділ 4).

## Продовження таблиці 5.1

1	2
Класифікація продукту за МКТ	Клас 9 (Наукові, дослідницькі, морські, геодезичні, фотографічні, кінематографічні, аудіовізуальні, оптичні, зважувальні, вимірювальні, сигнальні, детектувальні, аналізувальні, оглядові, рятувальні і навчальні апарати та інструменти; записані та завантажні медіафайли, комп'ютерне програмне забезпечення, чисті цифрові або аналогові носії інформації для записування та зберігання даних;...) Базовий номер: 090658 (комп'ютерні програми завантажні)
КВЕД виробництва	Секція J (Інформація та телекомунікації), Клас 62.01 Комп'ютерне програмування
Очікувана потужність	Мале підприємство
За масштабом виробництва	Одиничне
За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільне підприємство
За ресурсами, що споживатимуться	Інформаційномістке підприємство
За чисельністю персоналу	Мале підприємство
Органи управління при реалізації	Національні
Бажане географічне розташування	Бажано м. Київ, чи його пригород
Місце ідеї у ланцюжку цінностей	Впровадження існуючої розробки

Продовження таблиці 5.1

1	2
Гранична корисність ідеї	Споживач за 3 900 грн отримує річний доступ до програми, яка дозволяє з високою достовірністю прогнозувати якість підземних вод у певній геолокації та підбирати і розраховувати оптимальні методи її очищення
Бізнес-модель	B2B, так як основними споживачами є інші підприємства – виробники та постачальники обладнання для локальних систем очищення води
Конкуренти вітчизняні	В Україні конкурентами є науково-дослідні інститути геологічного та хімічного профілю, що можуть надавати інформацію, консультативні послуги, чи проводити відповідні дослідження, а також розробники програмного забезпечення аналізу баз даних
Конкуренти іноземні	Іноземні науково-дослідні інститути та агентства, що надають послуги з обробки масивів даних, відповідні ПЗ
Ключові фактори успіху	Запроваджений продукт немає прямих аналогів; Продукт надає унікальні можливості оптимізації процесу очищення води на локальних системах; Продукт дозволяє мінімізувати витрати споживача на очищення води при організації децентралізованого джерела водопостачання; Продукт дозволяє заощаджувати витрати на моніторинг якості джерела водопостачання; Продукт використовує сучасні методи обробки даних, що підкріплюється статистичною достовірністю результатів
Споживачі (на етапі впровадження)	Виробники та постачальники обладнання для локальних систем очищення води

Продовження таблиці 5.1

1	2
Планова кількість продукту	500 завантажень на рік
Споживачі на етапі розвитку	Більша на 50% кількість постачальників обладнання для очищення води, співпраця з великими підприємствами з виробництва напоїв, які використовують децентралізовані джерела питної води (Coca-Cola Ukraine, Оболонь та інші)
Споживачі на етапі зрілості	Виробники та постачальники обладнання для локальних систем очищення води, підприємства з виробництва напоїв різних типів та потужностей, приватні пивоварні (потребують питну воду певної якості), комунальні підприємства, що використовують підземні джерела питної води (ЧАО «АК «Київводоканал»)
Конкурентна ціна	Передплата у розмірі 3 900 грн/рік
Плановий рівень рентабельності	44,82 %
Капіталовкладення	2 055 480 грн
Період повернення капіталовкладень	3,4 років
Джерела фінансування	Пріоритетним джерелом є вітчизняні компанії з виготовлення обладнання для очищення води, що можуть надавати кредит у розстрочку в обмін на повернення коштів, або бартер на доступ до програмного забезпечення та адаптацію ПЗ відповідно до потреб даної компанії

Продовження таблиці 5.1

1	2
Основні компоненти продукції	Програмне забезпечення, доступ до якого здійснюється за щорічною передплатою
Потенційні постачальники складових компонентів розробки	Важливим компонентом розробки є бази даних моніторингу якості підземних вод. Основним постачальником є ГО «ВУВТ «ВОТРИЕТ» з базою даних моніторингового проекту «Карта якості води». Також постачальниками можуть слугувати Лабораторія іонного обміну та адсорбції НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», ТОВ «НПО Екософт», ТОВ «УкрХімАналіз», ООО «Дифрано Юнион» ТМ Organic Постачальник серверів для роботи ПЗ ООО "Хостинг «Украина»"
Планове місце реалізації	Планується створення сайту та продаж через нього
Наявність посередників	Без посередників
Методи просування результатів розробки на ринок	Участь у промислових конференціях та виставках з водопідготовки (Aqua Therm Kyiv та інші.), реклама у галузевих виданнях (журнал «Вода та Водочисні технології», та ін.) та на платформі WaterNet, особистий продаж

В світі і, зокрема, в Україні спостерігається помітне скорочення запасів прісної питної води з традиційних джерел. По даним «Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні» [4] з 2016 по 2018 роки спостерігається скорочення запасів питної води на 7%. Також погіршується її якість, як за рахунок перебільшення в водоймах вмісту нормованих речовин (з 10,7% ненормативних проб по санітарно-хімічним показникам у 2016 році до



19,3% ненормативних проб у 2018 [4]), так і за рахунок появи нових хімічних забрудників антропогенного походження, моніторинг вмісту яких в Україні не проводиться.

Як показують результати моніторингових проєктів, вода з джерел підземного децентралізованого водопостачання забруднена нітратами, іонами заліза, марганцю, солями твердості та іншими речовинами.

За даними моніторингового дослідження ВУВТ WaterNet середня концентрація у підземних водах заліза перевищує ГДК у 4-5 разів, мангану – у 2-3 рази, солей твердості – у 1,2 рази, нітратів – у 1,1 рази.

Це викликає необхідність використання локальних систем очистки води для доведення її якості до рівня питної.

На якість підземних вод суттєво впливають різні геологічні, антропогенні, кліматичні та інші фактори, що приводить до постійних коливань її складу. Це необхідно враховувати при виборі та оптимізації як систем водопостачання, так і водоочищення. При вирішенні цієї задачі актуальною стає систематизація та обробка отриманих баз даних. Ця тема набуває все більшого наукового інтересу, що приводить до появи нових математичних інструментів, які використовуються в різних галузях науки та техніки. У світі кожен рік з'являється від кількох десятків галузевих та міжгалузевих програм для обробки даних.

**Тема:** Прогнозування якості підземних вод за допомогою аналізу баз даних.

**Мета стартапу** полягає у розробці програмного забезпечення для прогнозування якості підземних вод на основі аналізу баз даних.

За допомогою даного програмного забезпечення споживач може:

- задаючи географічні координати підземного джерела води дізнатися параметри її якості та фактори, що на неї впливають;
- отримати інформацію про оптимальні умови очищення води;
- при організації децентралізованого джерела водопідготовки підібрати параметри (глибину залягання свердловини) при яких собівартість очищеної води буде мінімальна.

Суб'єктом замовлення є Громадська організація фахівців з водопідготовки «Всеукраїнське водне товариство «ВОТРИЕТ».

Об'єктом дослідження є санітарно-хімічні параметри якості підземних вод.

Цінність розробки в тому, що продукт надає унікальні можливості оптимізації процесу очищення води на локальних системах та дозволяє мінімізувати витрати споживача на очищення води та заощаджувати витрати на моніторинг якості джерела водопостачання. Також даний продукт немає аналогів та використовує сучасні методи обробки даних, що підкріплюється статистичною достовірністю результатів.

Перевагою даного продукту є те, що на відміну від традиційного методу відбирання та аналізу однієї проби, аналіз на основі баз даних враховує можливі зміни якості води через вплив кліматичних, геологічних та інших факторів.

**Для реалізації даного проєкту було:** розроблено та запрограмовано математичний метод для аналізу баз даних моніторингів якості води, реалізовано приклад програмного розрахунку для Київської області (Розділ 3) та техніко-економічних розрахунків мінімізації витрат на очищення води при організації децентралізованого джерела водопідготовки (Розділ 4).

**Для реалізації проєкту необхідно:** на базі розробленого математичного методу створити програмне забезпечення. Розширити наявну базу даних. Розробити сайт для поширення продукту.

## 5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища

Зовнішнє середовище включає: політичні структури, науково-технічний прогрес, суб'єктів економічного середовища, суб'єктів демографії, суб'єктів культурного середовища (Таблиця 5.2).

Таблиця 5.2 – Аналіз зовнішнього середовища

	Можливості	Загрози
1	2	3
Політика		
Українське законодавство	<p>Удосконалення чинного законодавства в галузі програмного забезпечення (80%), що призведе до популяризації впровадження програм для ведення бізнесу. При реалізації законопроекту «Про реалізацію експериментального проекту щодо застосування відображення в електронному вигляді інформації, що міститься у паспорті громадянина України» вірогідне (90%) закріплення на законодавчому рівні переведення інших аналогових даних у цифрові формати, що призведе до популяризації програм з обробки цифрових даних, тобто збільшення попиту.</p>	<p>Через нестабільність законодавства діяльність підприємства на ринку може бути ускладнена</p> <p>Законопроект № 4303-2 від 18.11.2020 «Про стимулювання розвитку сфери інформаційних технологій в Україні» створить в Україні віртуальну вільну економічну зону зі спеціальним податковим, фінансовим і правовим режимом. Це може нести як позитивні так і негативні наслідки. Негативною є можливість (90-100%) створення в перші роки після прийняття закону великої кількості небезпечних юридичних колізій, що буде гальмувати розвиток бізнесу та змушувати витратити додаткові кошти на юридичні послуги.</p> <p>Також з вірогідністю 80% збільшиться конкуренція, та попит на трудові ресурси, що призведе до збільшення на 20-30% ФОП.</p> <p>Вірогідність прийняття закону 70%.</p>

## Продовження таблиці 5.2

1	2	3
Патентування	Видача патенту на програму, захист авторських прав (від 97%). Наявність патенту розширить ринок для реалізації проекту на 200-300%, оскільки більшість середніх та великих компаній надають перевагу якісному та унікальному програмному забезпеченню.	Відмова у видачі патенту, що дає можливість крадіжки конкурентами ідеї розробки (до 3%), що значно зменшить ринок збуту.
Закони про діджиталізацію	Сприяння на законодавчому рівні впровадженню електронних засобів обробки інформації у промисловості (10-15%), що приведе до збільшення попиту на ПЗ з обробки даних.	Обмеження використання електронних засобів обробки інформації на підприємствах (до 5%), що ускладнить введення підприємствами продукту, тобто зменшить попит.
Міністерство енергетики та захисту навколишнього середовища	Проведення державних моніторингів якості підземних вод, що збільшить базу даних та можливості програмного забезпечення (70%), збільшить кількість постачальників даних, що покращить роботу ПЗ.	Створення відкритої інформації про якість підземних вод (10%), що знизить актуальність продукту та полегшить розробку аналогів конкурентами.
Економіка		
Платоспроможність підприємств	Можливість реалізації програмного забезпечення підприємствам. Підвищення ОБЗ споживача на 10% на скільки на 20% збільшить ймовірність придбання продукту.	Відмова від передплати на програмне забезпечення через втрату платоспроможності.

## Продовження таблиці 5.2

1	2	3
Податкові органи	Зменшення податку для підприємств, що впроваджують засоби електронної обробки інформації (20%), що приведе до збільшення попиту на продукт	Збільшення податку на реалізацію програм електронної обробки інформації (до 10%), збільшення затрат на реалізацію продукту
Міністерство фінансів	Надання пільг чи грантів на розробку нових засобів електронної обробки інформації (до 10%), прискорення реалізації продукту	Не сприяння чи протидія розробці і впровадження засобів електронної обробки інформації на підприємствах (до 3%), подовження терміну реалізації продукту
Інфляція	Стабільна економічна ситуація з низькою інфляцією (до 5%), яка прискорює реалізацію продукту	Високий рівень інфляції та нестабільна економічна ситуація (50-60%), збільшення капіталовкладень та зменшення прибутку
Науково-технічний прогрес		
Поява нових методів обробки баз даних	Ймовірність появи суттєво нових методів незначна (до 5%), оскільки дослідження ведуться у більш пріоритетних напрямках (використання методів, а не їх розробки). Вдосконалення продукту, можливість збільшення функціоналу програмного забезпечення, що збільшить попит.	Технологія може застарівати (до 5%), що знизить попит.
		Необхідність підвищувати рівень кваліфікації персоналу, що приводить до нових витрат.
Науково-дослідні установи	Можливість співпраці з НДІ (до 10%) і збільшення функціоналу програмного забезпечення.	Випуск схожої за функціоналом програми (до 5%), збільшення конкуренції.
Природне середовище		

Продовження таблиці 5.2

1	2	3
Клімат	Стабільні кліматичні умови, які легко моделюються програмним забезпеченням (90%), що буде гарантувати високу достовірність результатів та довіри користувачів.	Різкі кліматичні зміни (10%), що приведуть до зменшення актуальності бази даних, зменшення достовірності результатів та зменшення попиту.
Соціальна сфера		
Зацікавленість у навколишньому середовищі	Підвищення уваги різних груп населення до стану підземних вод (50%), що приведе до популяризації моніторингових проєктів та збільшення кількості постачальників баз даних, та актуалізації програм для обробки даних про якість води, що приведе до збільшення попиту.	Переведення уваги населення на інші екологічні проблеми (30%), що зменшить кількість моніторингових проєктів, тобто базу постачальників.
Демографія		
Чисельність населення	Збільшення чисельності населення та попиту на питну воду (20%), що збільшить ринок збуту	Зниження чисельності населення через міграцію (60%), що знизить попит на питну воду, і як наслідок знизить платоспроможність споживачів продукту
Урбанізація	Збільшення частки населення у пригородах та невеликих містах (50%), що збільшить попит на децентралізовані джерела питної води та збільшить ринок збуту	Збільшення частки міського населення (50%), що знизить попит на децентралізовані джерела води, зниження попиту

До факторів зовнішнього оперативного середовища відносять постачальників, виробників, споживачів. Їх аналіз наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Аналіз переваг та недоліків зовнішнього середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
1	2	3
Виробник		
Розробники програмного забезпечення	Розробка програми відповідно до технічного завдання (90%), тестування програми на наявність збоїв, оптимізація роботи програми	Висока вартість послуг (70%), наявність збоїв у роботі програми (20%), затримки у виконанні роботи (20%), що призведе до гальмування реалізації проєкту та додаткових капіталовкладень.
Розробник сайту	Розробка зручного в користуванні сайту з приємним дизайном (80%), що гарантує лояльність та довіру споживачів.	Висока вартість послуг (50%), затримки у виконанні роботи (50%), що призведе до гальмування реалізації проєкту та додаткових капіталовкладень.
Постачальник		
Лабораторії з аналізу проб води	Надання достовірної інформації про аналіз проб води з підземних джерел за невеликі кошти (80%), що забезпечить достовірність результатів аналізу даних програмним забезпеченням і, як наслідок, збільшить довіру до продукту та попит.	Надання баз даних з недостовірною інформацією (до 5%), відмова від співпраці (до 5%), надання баз даних, що не відповідають вимогам для аналізу (до 5%), що приведе до необхідності пошуку нових постачальників, додаткової обробки баз даних і, як наслідок, призведе до гальмування реалізації проєкту та додаткових капіталовкладень.
Споживач		
Малі підприємства	Велика кількість споживачів, зацікавленість у співпраці, що збільшить ринок збуту.	Намагання отримати несанкціонований доступ до програми (10%), що приведе до зменшення прибутку та необхідності додаткових капіталовкладень на кібербезпеку.

## Продовження таблиці 5.3

1	2	3
Середні та великі підприємства	Велика кількість завантажень (комп'ютерів всередині компанії), що значно збільшить ринок збуту.	Встановлення програмного забезпечення на один комп'ютер та надання до нього доступу всім працівникам (20%), що значно зменшить прибуток.
Конкурент		
Розробник аналогічного програмного забезпечення	Підвищення попиту за рахунок популяризації технології конкурентами (5%).	Розробка більш ефективного програмного забезпечення (до 5%).

На базі даних таблиць 5.3 та 5.2 проведено аналіз впливу основних факторів на реалізацію проєкту (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Аналіз зацікавлених сторін

Суб'єкт	Вплив його на реалізацію	Цікавість його у проєкті	Коефіцієнт впливу на проєкт
1	2	3	4
Суб'єкти зовнішнього оперативного середовища			
Виробники			
Розробники ПЗ	10	10	1
Розробник сайту	8	10	0,8
Постачальники			
Лабораторії з аналізу проб води	8	4	0,32
Споживачі			
Малі підприємства	8	8	0,64
1	2	3	4
Середні та великі підприємства	10	8	0,8
Конкурент			



Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4
Розробник аналогічного ПЗ	6	6	0,36
Суб'єкти зовнішнього середовища			
Політичні структури	6	2	0,12
Суб'єкти економічного середовища	7	4	0,28
Суб'єкти НТП	8	7	0,56
Суб'єкти демографічного середовища	3	2	0,06
Суб'єкти природного середовища	3	5	0,15

У таблиці 5.5 наведений аналіз переваг та недоліків внутрішнього середовища.

Таблиця 5.5 – Аналіз внутрішнього середовища

Складові внутрішнього середовища	Переваги	Недоліки
1	2	3
Організація управління	Правильно організована структура компанії (80%), що вплине на стабільність роботи проєкту	Недосконале знання переваг організаційно-правових форм організації бізнесу. та регулярні зміни в системі управління (5%), що приведе до затримок в роботі проєкту
Маркетинг	Ефективна реклама у галузевих виданнях (85%), що приведе перших споживачів	Великі витрати на початкових стадіях (10%)
Фінанси	Достатні кількості фінансових ресурсів, що надходять від лояльних компаній зацікавлених в продукті (70%), що гарантує стабільний запуск проєкту	Обмежені інвестиційні можливості, необхідність кредитування (30%), великі відсотки на виплати (10%), що приведе до недостатнього фінансування, додаткових витрат та сповільнення реалізації проєкту

## Продовження таблиці 5.5

1	2	3
Виробництво	Виготовлення унікального продукту (95%), що забезпечить довіру та лояльність споживачів	Складність технологічної розробки (15%), необхідність оновлювати програмне забезпечення (40%), що приведе до додаткових капіталовкладень
Персонал	Обмеження невеликим штатом персоналу (90%), що полегшить управління та заощадить кошти	Необхідність дуже високої кваліфікації кадрів (60%), необхідність проводити курси підвищення кваліфікації (40%), високі витрати на ФОП (50%), що приведе до додаткових витрат

## 5.3 Визначення основних факторів успіху проєкту

Основними конкурентами на ринку є програми аналізу баз даних, які можуть використовуватись спеціалістами для аналізу відкритих даних про якість підземних вод, а саме: SPSS Statistics, Stata, Minitab, EViews.

У таблиці 5.6 наведено аналіз основних факторів успіху проєкту.

Таблиця 5.6 – Бальна оцінка характеристики за методом Шонфільда

Показник	Коефіцієнт значущості	Оцінка за п'ятибальною шкалою				
		Власний продукт	SPSS Statistics	Stata	Minitab	EViews
Рівень ціни	0,2	5	1	3	2	3
Веб-підтримка	0,2	5	5	4	5	4
Розмір бази даних	0,25	5	2	2	2	2
Швидкість роботи	0,1	4	5	3	5	4
Процесор	0,05	4	3	4	3	4
Зрозумілість інтерфейсу	0,2	5	4	1	3	2

В таблиці 5.7 наведений розрахунок бальної оцінки основних характеристик.

Таблиця 5.7 – Оцінка характеристик продукту

Показник	Бальна оцінка характеристики				
	Власний продукт	SPSS Statistics	Stata	Minitab	EViews
Ціна	$0,2 \cdot 5 = 1$	$0,2 \cdot 1 = 0,2$	$0,2 \cdot 3 = 0,6$	$0,2 \cdot 2 = 0,4$	$0,2 \cdot 3 = 0,6$
Веб-підтримка	$0,2 \cdot 5 = 1$	$0,2 \cdot 5 = 1$	$0,2 \cdot 4 = 0,8$	$0,2 \cdot 5 = 1$	$0,2 \cdot 4 = 0,8$
Розмір бази даних	$0,25 \cdot 5 = 1,25$	$0,25 \cdot 2 = 0,5$	$0,25 \cdot 2 = 0,5$	$0,25 \cdot 2 = 0,5$	$0,25 \cdot 2 = 0,5$
Швидкість роботи	$0,1 \cdot 4 = 0,4$	$0,1 \cdot 5 = 0,5$	$0,1 \cdot 3 = 0,3$	$0,1 \cdot 5 = 0,5$	$0,1 \cdot 4 = 0,4$
Вимогливість до процесору	$0,05 \cdot 4 = 0,2$	$0,05 \cdot 3 = 0,15$	$0,05 \cdot 4 = 0,2$	$0,05 \cdot 3 = 0,15$	$0,05 \cdot 4 = 0,2$
Зрозумілий інтерфейс	$0,2 \cdot 5 = 1$	$0,2 \cdot 4 = 0,8$	$0,2 \cdot 1 = 0,2$	$0,2 \cdot 3 = 0,6$	$0,2 \cdot 2 = 0,4$

На основі розрахованих оцінок побудовано графік порівняння переваг власного підприємства з конкурентами (рисунок 5.1).

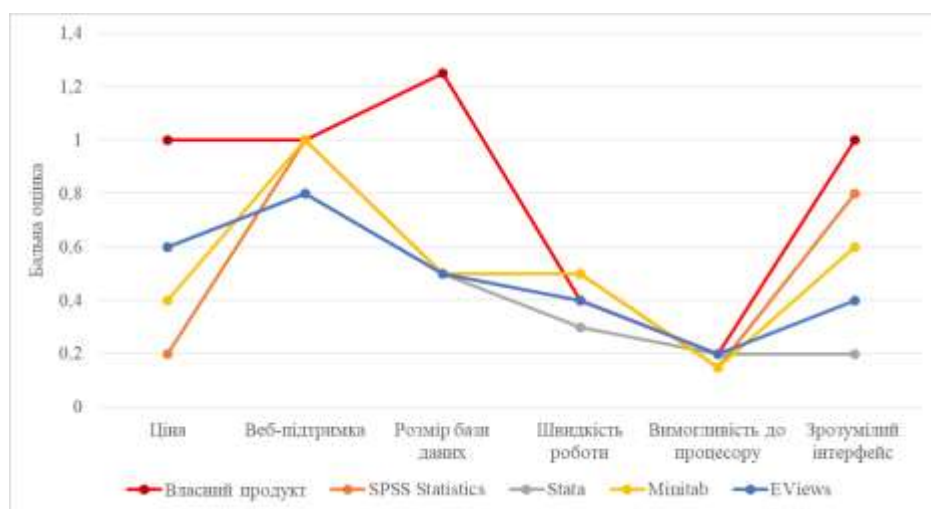


Рисунок 5.1 – Графік порівняння основних переваг власного продукту з конкурентами.

Отже ключовими факторами успіху даного проєкту є розмір досліджуваної бази даних, та зрозумілий інтерфейс. Також фактором успіху є більш доступна ціна.

В таблиці 5.8 наведені основні можливості оптимізації та розвитку проєкту.

Таблиця 5.8 – Варіанти розвитку ідеї проєкту

Варіант	Характеристика
Оптимізація	Замовити у розробників програмного забезпечення додаткову оптимізацію для збільшення швидкості роботи програми
Переклад	Розробити та завантажити переклад більшою кількістю мов

#### 5.4 Розрахунок ціни інноваційної пропозиції на ринку

Таблиця 5.9 – Першочергові капіталовкладення на запуск проєкту

Назва	Сума, грн
Приміщення	500 000
Персональні комп'ютери	80 000
Нематеріальні активи	20 000
ЗП персоналу на 1 рік:	
Директор (1)	264 000
Програміст (2)	432 000
Біб-програміст (1)	168 000
Інженер з водоопідготовки (1)	120 000
Закупівля баз даних (річні витрати)	80 000
Оренда серверу (річна)	15 000
Реклама	50 000
Юридичні послуги	20 000
Страхування майна	20 000
Електроенергія та інші витрати	70 000
Разом	1 839 000

Фонд оплати праці, грн/рік:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} \cdot (1 + 0,22), \quad (5.1)$$

де ЗП - заробітна плата, грн/рік:

$$\text{ФОП} = 984\,000 \cdot 1,22 = 1\,200\,480 \text{ грн/рік.}$$

Нарахування на ЗП, грн/рік:

$$\text{Н} = \text{ЗП} \cdot 0,22. \quad (5.2)$$

$$\text{Н} = 984\,000 \cdot 0,22 = 216\,480 \text{ грн/рік.}$$

Амортизаційні нарахування, грн/рік:

$$A = \frac{B_{\text{обл}}}{T_{\text{експ}}} + \frac{B_{\text{інв}}}{T_{\text{експ}}} + \frac{B_{\text{нем.акт.}}}{T_{\text{експ}}} + \frac{B_{\text{спор.}}}{T_{\text{експ}}}, \quad (5.3)$$

де  $B_{\text{обл}}$ ,  $B_{\text{інв}}$ ,  $B_{\text{нем.акт.}}$ ,  $B_{\text{спор.}}$  – вартість обладнання, інвентарю, активів, споруд відповідно, грн;

$T_{\text{експл}}$  – термін експлуатації основних фондів, рік.

$$A = \frac{80\,000}{5} + \frac{20\,000}{12} + \frac{50\,000}{15} = 51\,000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

У таблиці 5.10 наведена калькуляція на продукт.

Таблиця 5.10 Калькуляція на продукт

Елементи витрат	Витрати		Частка від собівартості, %
	На рік, грн/рік	На продукцію, грн/пр	
Амортизація	51 000	102	3,79
Оборотні фонди	95 000	190	7,06
Заробітна плата	984 000	1 968	73,08
Нарахування на ЗП	216 480	432,96	16,08
Собівартість повна	1 346 480	2 693	

Кількість випущеної продукції за рік становить 500 завантажень (передплата на 1 рік).

Ціна за витратним методом:

$$\text{Ц} = \text{С} + \text{П}, \quad (5.4)$$

де  $\text{Ц}$  – ціна одиниці товару, грн;

$\text{С}$  – собівартість одиниці товару, грн;

$\text{П}$  – мінімальна величина прибутку, яка перевищує інфляцію, грн.

$$\text{Ц} = 2\,693 + 80 = 2\,773 \text{ грн.}$$

Ціна за методом точки беззбитковості:

$$\text{П} = \text{Ц} - \text{С} = 0. \quad (5.5)$$

Знайдемо ціну, за якою необхідно продавати продукцію, щоб вийти на точку беззбитковості:

$$\text{П} = \text{Ц}_{\text{од}} \cdot \text{В}_p - (\text{А} + \text{ФОП} + \text{ОбФ}). \quad (5.6)$$

$$\text{Ц}_{\text{од}} \cdot 500 - (51\,000 + 1\,200\,480 + 95\,000) = 0$$

$$\text{Ц}_{\text{од}} = 2\,693 \text{ грн/завантаження.}$$

Ціна за параметричним методом:

$$\text{Ц}_1 = \text{Ц}_2 \cdot (\text{Б}_1 / \text{Б}_2), \quad (5.7)$$

де  $\text{Ц}_1$  – ціна нашого продукту, грн/завантаження;

$\text{Ц}_2$  – ціна відомого ПЗ Stata, грн/завантаження;

$\text{Б}_1$  – балова оцінка нашого ПЗ;

$\text{Б}_2$  – балова оцінка ПЗ Stata.

$$\text{Ц}_1 = 4\,000 \cdot (4,85/2,6) = 7\,462 \text{ грн/зв.}$$

Собівартість річного випуску продукції, грн/рік:

$$\text{С}_p = \text{ОбФ} + \text{ЗП} + \text{Нарахування} + \text{А}. \quad (5.8)$$

$$C_p = 95\,000 + 51\,000 + 984\,000 + 216\,480 = 1\,346\,480 \text{ грн/рік.}$$

Вартість продукції, грн/рік:

$$\Pi_p = \Pi_{\text{од}} \cdot B_{\text{рік}}. \quad (5.9)$$

$$\Pi_p = 3\,900 \cdot 500 = 1\,950\,000 \text{ грн/рік.}$$

Собівартість одиничної продукції, грн:

$$C = C_p / B_{\text{рік}}. \quad (5.10)$$

$$C = 1\,346\,480 / 500 = 2\,692,96 \text{ грн.}$$

Прибуток, грн/рік:

$$\Pi = \Pi_p - C_p. \quad (5.11)$$

$$\Pi = 1\,950\,000 - 1\,346\,480 = 603\,520 \text{ грн/рік.}$$

Капіталовкладення, грн:

$$K = O\Phi + O\mathcal{B}3. \quad (5.12)$$

$$K = 760\,000 + 1\,295\,480 = 2\,055\,480 \text{ грн.}$$

Рентабельність виробництва, %:

$$P = (\Pi / C_p) \cdot 100\%. \quad (5.13)$$

$$P = (603\,520 / 1\,346\,480) \cdot 100\% = 44,82 \text{ \%}.$$

Період повернення капіталовкладень, рік:

$$T_{\text{пов}} = K / \Pi. \quad (5.14)$$

$$T_{\text{пов}} = 2\,055\,480 / 603\,520 = 3,4 \text{ років.}$$

Ефективність підприємства:

$$E = \Pi / K. \quad (5.15)$$

$$E = 603\,520 / 2\,055\,480 = 0,29.$$

Фондовіддача, грн/грн:

$$\Phi B_{OF} = \Pi_p / OF. \quad (5.16)$$

$$\Phi B_{OF} = 1\,950\,000 / 760\,000 = 2,57 \text{ грн/грн.}$$

$$\Phi B_{OB3} = \Pi_p / OB3. \quad (5.17)$$

$$\Phi B_{OB3} = 1\,950\,000 / 1\,295\,480 = 1,51 \text{ грн/грн.}$$

Фондоємність, грн/грн:

$$\Phi E_{OF} = 1 / \Phi B_{OF}. \quad (5.18)$$

$$\Phi E_{OF} = 1 / 2,57 = 0,40 \text{ грн/грн.}$$

$$\Phi E_{OB3} = 1 / \Phi B_{OB3}. \quad (5.19)$$

$$\Phi E_{OB3} = 1 / 1,51 = 0,66 \text{ грн/грн.}$$

Отже, прибуток становитиме 603 520 грн/рік при капіталовкладеннях 2 055 480 грн. При цьому рентабельність складає 44,82 %, а коефіцієнт економічної ефективності – 0,29. Термін повернення капіталовкладень становитиме 3,4 років.

### 5.5 Оцінка ризику впровадження нової технології

Основні ризики на відповідних стадіях розвитку проєкту наведені в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Ризики реалізації проєкту

Стадія проєкту	Ризики
1	2
Розробка ідеї стартапу	
Визначення можливого функціоналу програми та технічних параметрів розробки програми	Невдалий вибір функціоналу ПЗ, невідповідність функціоналу поставленим задачам
Реалізація ідеї	



Продовження таблиці 5.11

1	2
Патентування	Відмова в отриманні патенту через невідповідність вимогам чи наявності аналогів
Прийняття рішення щодо інвестування	Отримання позик на не вигідних умовах.
Вибір робітників	Відсутність кваліфікованих кадрів на ринку праці. Невідповідність навичок найнятих працівників поставленій задачі.
Оформлення документів	Юридичні помилки в оформленні документів. Несвоєчасне оформлення необхідних документів.
Впровадження у виробництво	
Розробка програмного забезпечення	Наявність збоїв у роботі програми, затримки у виконанні роботи.
Розробка сайту	Затримки у виконанні роботи, невідповідність сайту поставленим вимогам
Отримання баз даних	Ненадання лабораторіями баз даних на вигідних умовах, відсутність необхідної кількості даних
Масова реалізація	
Пост-розробницька підтримка	Надто велика кількість запитів, або навпаки, небажання клієнтів повідомляти про наявні технічні проблеми в роботі програми
Оновлення баз даних	Відмова лабораторій від співпраці на вигідних умовах, зменшення кількості даних, закриття лабораторій-партнерів
Утримання серверів	Проблеми в роботі серверів, тимчасові відключення серверів, аварії на сервері

В таблиці 5.12 наведений аналіз існуючих ризиків.

Таблиця 5.12 – Ризики інноваційної розробки

Види ризиків	Назва ризику	Ймовірність настання	Вплив на очікуваний результат
1	2	3	4
Зовнішні ризики			
1. Економічні	1. Рівень економічного розвитку	3	2
	2. Вплив держави	1	2
	3. Прибуток споживачів	2	2
2. Конкурентні	1. Можливість технологічного відставання	2	2
	2. Умови на ринку	1	2
3. Правові	1. Зміни законів	1	1
	2. Зміна патентного права	2	3
4. Форсмажорні	1. Природні катаклізми	1	1
	2. Можливість соціального впливу	1	1
	3. Зменшення ділової репутації	1	2
Внутрішні ризики			
5. Технологічні	1. Відсутність розвитку	2	2
	2. Ризик збоїв у ПЗ	1	3
6. Управлінські	1. Помилки у цілях та задачах	2	3
	2. Неправильне управління	1	3
	3. Зміни у організації	2	3
7. Фінансові	1. Дефіцит ресурсів	1	2
	2. Збільшення вартості ресурсів	2	2
8. Кадрові	1. Нестача кваліфікованих кадрів	2	3
	2. Відтік трудових ресурсів	1	3

В таблиці 5.13 запропоновані заходи щодо мінімізації вказаних ризиків.

Таблиця 5.13 - Перелік заходів щодо уникнення ризиків

Ризики	Заходи
Загально економічні	Прогнозування економічної ситуації в країні та подальше ефективне планування
Конкурентні	Вивчення діяльності конкурентів, моніторинг ринку
Правові	Консультавання по юридичним питанням з кваліфікованими юристами
Технологічні	Вдосконалення технології, відстеження розвитку науково-технічного прогресу
Кадрові	Впровадження курсів підвищення кваліфікації. Залучання професійних кадрів за рахунок високої зарплатні.

## 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Дану роботу присвячено використанню сучасних методів аналізу багатомірних даних для прогнозування якості води з підземних джерел і оптимізації витрат на її очищення.

Науково-дослідна робота виконувалася в комп'ютерному кабінеті, обладнаному ЕОМ.

При виконанні роботи прийняті рішення, які відповідають вимогам охорони праці. В розділі проведено аналіз факторів, які несуть небезпеку та шкоду для працівників. На базі даного аналізу розроблено заходи щодо забезпечення безпечних умов праці, безпеки при виникненні пожежі та в надзвичайних ситуаціях.

### 6.1 Шкідливі та небезпечні виробничі чинники в робочому кабінеті

#### 6.1.1 Повітря робочої зони

Відповідно до ДСН 3.3.6.045-99, робота в кабінеті, відноситься до категорії Іа, тобто легких фізичних робіт.

Параметри мікроклімату на постійних робочих місцях наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Санітарні норми мікроклімату комп'ютерного кабінету

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		Оптимальні	Допустимі	Оптимальні	Допустимі	Оптимальні	Допустимі
Холодний	Іа	22-24	21-25	40-60	75	0,1	0,1
Теплий	Іа	23-35	22-28	40-60	65	0,1	0,1-0,2

Температура внутрішніх поверхонь приміщень (стіни, підлога, стеля), а також температура зовнішніх поверхонь обладнання не повинна виходити за

межі допустимих величин температури повітря для даної категорії робіт, вказаних в таблиці 6.1.

Контроль температури в приміщенні здійснюється за допомогою безконтактного електронного термометра.

Під час НДР відповідність параметрів мікроклімату наведеним у таблиці 6.1 значенням здійснювався 1 раз на день. Усі метеорологічні параметри відповідали вимогам ДСН 3.3.6.045-99.

#### 6.1.2 Виробниче освітлення

Відповідно з Державними будівельними нормами В.2.5-28:2018, зорові роботи у комп'ютерному кабінеті відповідають розряду IVa.

У комп'ютерному кабінеті наявне природне бокове одностороннє освітлення через вікна в зовнішніх стінах. Використовується також штучне загальне освітлення. Для цього у кабінеті встановлено 2 світильники типу НПП 04У-100-002.

Норми штучного освітлення коефіцієнта природної освітленості КПО виробничих приміщень наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Характеристика зорових робіт і нормативних значень освітлення в робочому приміщенні

Розряд зорової роботи	Характер зорових робіт	Освітленість при штучному освітленні, лк.		КПО, %	
		Комбіноване	Загальне	Природне	Суміщене
IVa	середньої точності	500	480	1,2	0,9

Розраховане значення загального освітлення 550 лк. Середня освітленість поверхонь робочого місця становить 500-600 лк. Отже, освітленість відповідає встановленим вимогам.

Контроль освітленості проводиться 2 рази на рік та за допомогою люксметра Ю-116.

Для забезпечення необхідного рівня освітленості передбачено 1 раз на місяць чистити віконне скло від пилу та замінювати лампи, після її виходу з робочого стану.

#### 6.1.3 Виробничий шум

Основними джерелами шуму в комп'ютерному кабінеті є охолоджуюче обладнання в ЕОМ та пристрої для друку.

При роботі в комп'ютерному кабінеті рівень звуку, відповідно з нормами ДСанПІН 3.3.2.007-98, не повинен перевищувати 50 дБА.

Максимальне значення шуму в робочій зоні (при одночасній роботі ЕОМ та пристрою для друку) складає 25 дБА. Отже рівень шуму в кабінеті відповідає встановленим нормам. Необхідність у додаткових заходах захисту від шуму відсутня.

#### 6.1.4 Електробезпека

Відповідно до правил зазначених в ПУЕ, приміщення робочого кабінету, за безпекою ураження електрострумом відноситься до першої категорії (приміщення без підвищеної небезпеки).

Живлення електричних пристроїв здійснюється від електричної мережі змінного струму (трифазної) напругою 380/220 В та частотою 50 Гц, з глухозаземленою нейтраллю.

Ураження працівників електричним струмом можливе при порушенні електроізоляції, в наслідок дотику до відкритих частин, що проводять струм, або через електричну дугу.

Таким чином методом запобігання ураженням електричним струмом є використання надійної ізоляції та контроль за її станом.

Сила струму, що проходить крізь тіло людини при однофазному і двофазному дотику до струмопровідних елементів під напругою розраховується за формулою:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_{\text{о}}}, \text{ мА} \quad (6.1)$$

де  $U_{\text{ф}} = 220$  – фазова напруга, В;

$R_{\text{л}} = 2000$  – опір людини в самих несприятливих умовах, не враховуючи опір підлоги, Ом;

$R_{\text{о}} = 4$  – опір заземлення нейтралі, Ом.

Безпечні значення струму і напруги дотику:

- $I_{\text{л}} = 0,3$  мА і  $U_{\text{пр}} = 2$ В, з часом дії до 10 хвилин на добу;
- $I_{\text{л}} = 6$  мА і  $U_{\text{пр}} = 36$ В, при контакті більше 1 секунди.

Сила струму, що проходить крізь тіло людини:

$$I_{\text{л}} = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 110 \text{ мА.}$$

Напруга дотику:

$$U_{\text{д}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}}; \quad (6.2)$$

$$U_{\text{д}} = 0,11 \cdot 2000 = 220 \text{ В.}$$

Розраховані значення сили струму та напруги значно перевищують наведені вище нормативи. Отже порушення техніки безпеки або вимог правил будови електричного обладнання у робочому приміщенні можуть призвести до електротравм з тяжкими наслідками.

Для проведення наукових досліджень використовувались прилади першого класу. Дані прилади володіють підвищеним захистом від ураження людини струмом за допомогою занулення. Також, для попередження травматизму передбачено виконувати необхідні заходи:

- перевірка з'єднувальних проводів на цілісність ізоляції при увімкненні приладів;

- використання приладів промислового виготовлення, що працюють при низьких напругах;
- використання занулення корпусів електроустаткування, ізолюючих підставок, гумового покриття.

## 6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

До надзвичайних ситуацій можна віднести пожежі, ядерний вибух, катастрофи природного та техногенного характеру.

### 6.2.1 Атестація робочого місця за умовами праці

#### Карта умов праці на робочому місці

Підприємство: Всеукраїнське водне товариство ВОТЕРНЕТ

Приміщення: офіс 04, кабінет 2

Відповідальний: Дрікер Юхим Дмитрович

Дата заповнення: 16.11.2020

Таблиця 6.3 - Карта умов праці на робочому місці

п/п	Фактори виробничого середовища	Норматив ГДК; ГДР	Значення	Ступінь шкідливої дії, бали	Тривалість за зміну, Т	Шкідливість фактична, бали
1	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, %	21-25 до 0,1 40-60	21 0,05 53	- - -	1 1 1	- - -
2	Шум, дБА	50	25	-	0,02	-
3	Освітленість, лк	500	550	-	1	-
4	Напруженість праці: - тривалість зосередження у часі (% часу зміни)  - напруженість аналітичних функцій	до 50  середньої точності	90  сер. точності	1  -	0,9  -	0,9  -
Сума балів						0,9

Сума значень факторів виробничого середовища складає 0,9 балів. Розмір доплати за умови праці – 5 %. Робоче місце підлягає раціоналізації.



### 6.2.2 Пожежна безпека

Причинами виникнення пожежі шляхом загорання чи вибуху в робочому приміщенні можуть бути:

- іскри від короткого замикання при пошкодженні ізоляції електричного обладнання;
- накопичення електростатичних зарядів;
- електричні розряди в ЕОМ через перевантаження системи, або збоїв у її роботі;
- прямий удар блискавки в об'єкт.

Горючими об'єктами у комп'ютерному кабінеті є: дерев'яні меблі, штори, підлога, віконні рами, елементи ізоляції, одяг, радіотехнічні деталі, папери, двері.

Для забезпечення пожежної безпеки в кабінеті виконуються наступні заходи:

- застосовуються первинні засоби гасіння пожеж – вогнегасники;
- встановлено стрижньовий блискавковідвід;
- передбачено аварійне відключення електропостачання у випадку виникнення загорання;
- встановлено детектори диму;
- для запобігання перевантаження встановлено запобіжники.

При виникненні пожежі забезпечується евакуація людей через центральний, або запасний вихід на вулицю.

### 6.2.3 Аналіз небезпеки об'єкту

Відповідно з Положенням «Про план локалізації і ліквідації аварійних ситуацій», об'єкт можна віднести до рівня небезпеки А.

При порушенні встановлених правил пожежної безпеки, через наявність у робочому приміщенні обладнання під достатньою напругою, може виникнути пожежа.

В такому випадку необхідно дотримуватись наступного плану дій: просигналізувати про виникнення пожежі, за телефоном «101» викликати пожежну охорону, використати наявні засоби гасіння вогню (вогнегасник, воду, пісок), ізолювати усі горючі матеріали, покинути будівлю відповідно з планом евакуації.

Під час проведення науково-дослідної роботи можливі також інші аварійні ситуації, а саме: коротке замикання, вимкнення електропостачання, що живить обладнання та засоби захисту.

У випадку загорання легкозаймистих речовин необхідно:

- терміново почати гасіння, використавши наявні засоби (вогнегасники, або пісок);
- ізолювати інші можливі вогненебезпечні речовини.

Оцінка рівня захисту персоналу при необхідності використання захисних споруд.

Відповідні споруди (сховища, бункери, тощо) мають бути придатні для використання за призначенням, а також володіти певними захисними властивостями.

Забезпечення можливості використання сховищ людьми включає:

- встановлення нар;
- перевірку сховища на герметичність;
- підготовку запасу медичних препаратів, їжі та питної води;
- встановлення пристроїв зв'язку;
- встановлення санітарно-технічних пристроїв;
- налагодження систем життєзабезпечення;
- повна реконсервація пристроїв;
- налагодження системи вентиляції;
- відсутність зайвих речей.

Характеристики захисних споруд наведена у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Характеристики захисних споруд

Тип, номер захисної споруди	Площа приміщень, м <sup>2</sup>				Висота приміщень	Аварійний вихід
	Для людей з санітарним постом	Допоміжних				
		ФВП, санвузли	Для продуктів	Тамбур шлюз		
Сховище 1	54	9	3	9	2,5	є

Наявне сховище, що повністю відповідає встановленим нормам.

За встановленими нормами на одну людину передбачено 0,5 м<sup>2</sup> площі сховища. Тобто сховище №1 може включати [42]:

$$M_1 = \frac{54 - 2}{0,5} = 104 \text{ особи.}$$

Розрахунок місткості за об'ємом можна провести за формулою [42]:

$$M_o = \frac{(S_{\text{пр}} + S_d) \cdot h}{1,5}, \quad (6.1)$$

де  $S_{\text{пр}}$  – площа приміщення для людей, м<sup>2</sup>;

$S_d$  – площа додаткових приміщень, м<sup>2</sup>;

$h$  – висота приміщення, м:

$$M_o = \frac{(54 + 9 + 3 + 9) \cdot 2,5}{1,5} = 125 \text{ осіб.}$$

Коефіцієнт місткості [42]:

$$K_m = \frac{M_1}{N_{\text{max}}}, \quad (6.2)$$

де  $M$  – місткість, ос.;

$N$  – максимальна кількість робітників у зміні:

$$K_m = \frac{104}{90} = 1,16.$$

Необхідна кількість нар може бути розрахована за формулою [42]:

$$H = \frac{M_1}{5}, \quad (6.3)$$

$$H = \frac{104}{5} = 21 \text{ нара.}$$

Отже, судячи з розрахунків, у сховищі №1 можуть розміститись усі працівники зміни. Необхідно закупити 21 нару для встановлення у захисних спорудах.

Необхідні дані для аналізу захисних властивостей при наземному вибуху [42]:

- середня швидкість вітру  $V_{\text{св}} = 80 \text{ км/год}$ ;
- прогнозована потужність ядерного вибуху  $q = 190 \text{ кт}$ ;
- прогнозована відхилення місця вибуху від центру прицілювання  $r_{\text{відх}} = 0,4 \text{ км}$ ;
- відстань від точки вибуху до об'єкта  $R = 2,4 \text{ км}$ ;

Для захисту робітників від ударної хвилі необхідні наступні властивості захисних споруд [42]:

$$R_{\text{min}} = R_r - r_{\text{відх}}; \quad (6.4)$$

$$R_{\text{min}} = 2,4 - 0,4 = 2 \text{ км.}$$

Отже  $\Delta P_{\text{ф. max}}$  при даних умовах [42]:

$$\Delta P_{\text{ф. max}} = \Delta P_{\text{ф. потр}} = 60 \text{ кПа}$$

Для захисту робітників від радіоактивної дії необхідні наступні властивості захисних споруд:

Коефіцієнт ослаблення радіаційної дії розраховуємо за формулою [42]:

$$K_{\text{о.п.}} = \frac{D_{\text{р.з.}}}{D_{\text{доп}}} = \frac{5 \cdot P_{1\text{max}}(t_{\text{п}}^{-0,2} - t_{\text{к}}^{-0,2})}{50}, \quad (6.5)$$

де  $t_{\text{п}}$  – початок опромінювання після вибуху, год;

$t_{\text{к}}$  – закінчення опромінювання, год;

$P_{1\text{max}}$  – максимальний рівень радіаційної дії.

$$K_{o.п.} = \frac{(1^{-0.2} - 97^{-0.2}) \cdot 10880 \cdot 5}{50} = 952.$$

Отже сховище №1 повністю забезпечує необхідний рівень захисту працівників, у кількості 104 особи, від ударної та радіаційної дії.

## ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу літератури обрано найбільш доцільні сучасні математичні методи обробки багатомірних даних, за допомогою яких проведено аналіз бази даних моніторингового проєкту «Карта якості води» щодо артезіанських вод Києва та Київської області.

2. Встановлено з достовірністю  $p < 0,001$ , що основними забруднювачами підземних вод Києва та Київської області є нітрати, органічні домішки, солі твердості, іони заліза та марганцю, концентрація яких залежить від двох основних факторів: глибини залягання свердловини та географічного зонування свердловини.

3. Встановлено можливість та доведена статистична значимість результатів прогнозування якості підземних вод з урахуванням інформації щодо глибини залягання та географічного зонування свердловини:

- перевищення нормативів для питної води за вмістом органічних домішок виявлено при глибині залягання свердловини вище 12,5 метрів, за вмістом нітратів вище 27,5 метрів, за твердістю води вище 45,5 метрів, а за вмістом заліза та марганцю на всьому досліджуваному діапазоні глибин;

- було виявлено, що в Київській області наявні три географічні зони з різною твердістю підземних вод: південна з середньою твердістю підземних вод  $5,6 \pm 2,7$  ммоль/дм<sup>3</sup>, східна з твердістю  $6,8 \pm 3,0$  ммоль/дм<sup>3</sup>, та північна з твердістю  $8,5 \pm 3,5$  ммоль/дм<sup>3</sup>.

4. Розроблено диференціальну (бальну) систему оцінки якості підземних вод з урахуванням глибини залягання та географічного зонування свердловини, за допомогою якої обираються оптимальні методи локальної водопідготовки.

5. Проведено техніко-економічні розрахунки локальних систем водопідготовки та визначені оптимальні умови організації децентралізованого джерела водопостачання. Для Київської області визначено, що мінімальні витрати на розробку децентралізованого джерела водопостачання спостерігаються при розробці артезіанської свердловини глибиною залягання у

південній зоні 58 метрів, у східній зоні – 50 метрів, у північній зоні – 41 метр. Мінімальна собівартість очищеної води складає для південної зони 27,7 грн/м<sup>3</sup>, для східної зони – 25,8 грн/м<sup>3</sup>, для північної зони – 23,1 грн/м<sup>3</sup>.

6. Розробки отримані в ході даної дисертації використовуються громадською організацією спеціалістів з водопідготовки «WaterNet» для аналізу бази даних проєкту «Карта якості води».

## Перелік посилань

1. World Bank Group, Renewable internal freshwater resources per capita [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC>
2. Андрусишина И. Н., Василюк С. Л., Малецкий З. В., Макарова Н. В., Митченко Т. Е., Мудрик Р. Я., Светлейшая Е. М., Сусь М. А. Современная децентрализованная водоподготовка. Часть 1 Актуальные водные проблемы. К.: ВУБТ WATERNET, 2018 – 105 с.
3. Мітченко Т.Е. Серія видань Світ сучасної водоподготовки. Актуальні проблеми води/ під ред. Мітченко Т.Е., К.: ВУБТ WATERNET, 2019 - 82 с. - ISBN 978-966-97940-1-7
4. Міністерство розвитку громад та територій України, Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2018 р., 2019, с. 351
5. Гошовський С., Саніна І., Люта Н. Ідентифікація і розмежування масивів підземних вод у басейні річки Дніпро, Україна. - К., 2018. - 114 с.
6. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10), редакція від 19.09.2011.
7. Директива 98/83/ЕС Совета от 3 ноября 1998 года, о качестве воды, предназначенной для употребления людьми [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://old.aquaexpert.ru/analytics/?id=21&t=2>
8. Конык А.В. Обзор и анализ международных нормативных документов, определяющих уровень безопасности и качества питьевой воды, К.: Пром. теплотехника, 2015, т.37, №5 - с. 87-95 - ISSN 0204-3602
9. Карта якості води ВУБТ Waternet [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://waternet.ua/>
10. Светлейшая Е.М. Умягчение воды: энергоэффективность + энергосбережение // Вода и Водоочистные Технологии, 2013. – № 67(1). – С. 4-9



11. Митченко Т.Е. Правильная вода и пути ее получения/ под ред. Митченко Т.Е. К.: ВВО WATERNET, 2012 – 98 с.
12. Компанія «Екософт»: Інтернет-каталог [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://ecosoft.ua>, вільний
13. Еsomix® – современная технология комплексной водоподготовки. – Вода и Водоочистные Технологии, 2011 - №2 с. 47–49
14. Компанія «AquaWater»: Інтернет-каталог [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://aquawater.com.ua>
15. Мітченко Т.Е. Серія видань Світ сучасної водоподготовки. Матеріали та методи / під ред. Мітченко Т.Е., К.: ВУВТ WATERNET, 2019 - 132 с. - ISBN 978-966-97940-2-4
16. Kim H. Esbensen Multivariate Data Analysis: In Practice. - Camo, 2000. - 598 с. - ISBN 9788299333023
17. S. Mohanasundaram, G. Suresh Kumar, Balaji Narasimhan; A novel deseasonalized time series model with an improved seasonal estimate for groundwater level predictions. H2Open Journal 1 January 2019; 2 (1): 25–44. doi: <https://doi.org/10.2166/h2oj.2019.022>
18. Amadou Toure, Duan Wenbiao, Zakaria Keita; An investigation of some water quality properties from different sources in Pelengana commune, Segou, Mali. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development 1 September 2018; 8 (3): 449–458. doi: <https://doi.org/10.2166/washdev.2018.172>
19. Eibe F. Data mining. Practical machine learning tools and techniques. F.Eibe, I.Witter. — 2005. — 525 с
20. Sholom M.W. Text minig. Predictive methods of analyzing unstructured information. M. W. Sholom, N.Indurkhya, T.Zhang, F.J.Damarau. — 2004. — 236 с.
21. D.L. Marrin A Pattern-Based Approach to Evaluating Water Quality / 2nd International Electronic Conference on Water Sciences (ECWS-2) - 2017 - 5с - DOI: 10.3390/ecws-2-04945
22. ГОСТ 18164 "Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка"

23. ГОСТ 18826 "Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов"
24. ГОСТ 3351 "Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности"
25. ГОСТ 4011 "Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа"
26. ГОСТ 4151 "Вода питьевая. Метод определения общей жесткости"
27. ГОСТ 4974 "Вода питьевая. Методы определения содержания марганца"
28. Сергиенко В.И. Математическая статистика в клинических исследованиях / В.И. Сергиенко, И.Б. Бондарева. - М: ГЭОТАР-МЕД, 2001. - 256 с.
29. Krzywinski, M., Altman, N. Visualizing samples with box plots. Nat Methods 11, 119–120 (2014). <https://doi.org/10.1038/nmeth.2813>
30. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования М.: МЦНМО, 2013. — 390 с.
31. Касьянов В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение/ В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 1104 с.
32. Tan P.J. MML inference of decision graph with multi-way and dynamic attributes / P.J. Tan, D.L. Dowe [http://www.csse.monash.edu.au/~dld/Publications/2003/Tan+Dowe2003\\_MMLDecisionGraphs.pdf](http://www.csse.monash.edu.au/~dld/Publications/2003/Tan+Dowe2003_MMLDecisionGraphs.pdf)
33. Унгурияну, Т. Н., Гржибовский, А. М. (2011). Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях. Экология человека, (5), 55-60.
34. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. — 2. — М.: Наука, 1965 - 512 с.

35. Концевой, А.Л. Алгоритмізація і програмування розрахунків процесу водопідготовки [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ А.Л. Концевой, Н.М. Толстопалова. – К.: 2003. – 44 с.
36. Митченко Т.Е., Макарова Н.В., Федотова Л.П. Особенности процесса очистки питьевой воды от нитратов // "Вода і водоочисні технології" №2-3 учених НТУУ "Київський політехнічний інститут", Лабораторія іонного обміну і адсорбції, г. Київ, 2002 г. – с. 61-66
37. Schreiber G. Solving a nitrate removal problem // Water Technology. – 2001. – P.41–42.
38. Злобіна К. С., Кураєва І. В., Кроїк Г. А.. Особливості хімічного складу підземних вод Києва, що використовуються для бюветного водопостачання / Journal of Geology, Geography and Geoecology, vol. 19, no. 32, 2011, pp. 1-7.
39. Калінін І.В. Вміст іонів карбонатно-кальцієвої рівноважної системи в питних підземних водах Київської області/ Допов. Нас. акад. наук Укр. 2020, 6:61-73 <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.06.061>
40. Компанія «Aquamen»: Інтернет-каталог [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://aquamen.com.ua/>, вільний.
41. Компанія «Aqualux»: Інтернет-каталог [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://aqualux.ua/>, вільний
42. Г.П. Демиденко та ін. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до виконання практичних, індивідуальних робіт та домашньої контрольної роботи для студентів технічних спеціальностей. Київ. НТУУ «КПІ». 2008. с.51-59.

## Додаток А

Затверджую  
Директор всеукраїнської  
громадської організації спеціалістів  
з водопідготовки «WaterNet»  
Бережна Ю.С.

## Акт впровадження наукової розробки

Даний акт складено про впровадження наукової розробки, а саме програмного забезпечення для обробки масивів даних моніторингу складу води, що дозволяє прогнозувати якість води з підземних джерел у конкретному регіоні, а також пропонувати оптимальні умови її очистки.

Програмне забезпечення розроблене студентом кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології (ТНР, В та ЗХТ), хіміко-технологічного факультету, КПІ ім. Ігоря Сікорського Дрікером Юхимом Дмитровичем в рамках виконання магістерської дисертації під керівництвом д.т.н., проф., професора кафедри ТНР,В та ЗХТ Мітченко Т.Є. та використовується для аналізу бази даних проєкту «Карта якості води».

Член експертної ради з питань  
«Карти якості води»

Василюк С.Л.