

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра Технології цукру та підготовки води

«До захисту в ЕК»

Директор інституту
Оксана КОЧУБЕЙ-
ЛИТВИНЕНКО
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«___» _____ 2024 р.

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри
Інна КАРПОВИЧ
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«___» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
зі спеціальності 181 «Харчові технології»
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки
води у промислових та крафтових виробництвах»
на тему: «Удосконалення технології виробництва води для потреб індустрії
гостинності»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЦВ-2-11М

Савченко Дмитро Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Чернова Наталія Миколаївна

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент _____

Дмитро ЧАРНИЙ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2024 р..

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології цукру і підготовки води

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ТЦ і ПВ

Інна КАРПОВИЧ
“ 07 ” жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Савченка Дмитра Івановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології виробництва води для потреб індустрії гостинності

керівник роботи Чернова Наталія Миколаївна, доцент, кандидат технічних наук

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 07.10.2024 року № 882кс

2. Строк подання здобувачем роботи 06 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Дослідження проводилися по очищенню води з бювету парку Т.Г. Шевченка з метою зниження у ній загального вмісту заліза.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Розділ 1. Залізо у складі води. Засоби знезалізнення.

Розділ 2. Об'єкти і методи досліджень.

Розділ 3. Експериментальна частина.

Розділ 4. Менеджмент якості та безпечності харчової продукції за системою НАССР

Розділ 5. Екологічні, економічні та соціальні аспекти дослідження в контексті забезпечення сталого розвитку України.

Висновки.

Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 7 жовтня 2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення розділу “Залізо у складі води. Засоби знезалізнення”	25.10.24	
2	Визначення об'єктів і методів досліджень	01.11.24	
3	Оформлення розділу “Експериментальна частина»	07.11.24	
4	Виконання оптимізації отриманих даних досліджень	17.11.24	
5	Оформлення розділу “Менеджмент якості та безпеки харчової продукції за системою НАССР”	24.11.24	
6	Оформлення розділу “ Екологічні, економічні та соціальні аспекти дослідження в контексті забезпечення сталого розвитку України”	01.12.24	
76	Затвердження магістерської роботи	06.12.24	

Здобувач _____
(підпис)

Дмитро САВЧЕНКО _____
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Наталія ЧЕРНОВА _____
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Робота складається з п'яти розділів, виконана на 85 сторінок, ілюстрована 13 таблицями і 7 рисунками, висновків і списку бібліографічних джерел з 32 найменувань.

Мета роботи – розробка апаратурно-технологічної схеми очищення водопровідної води в готельних комплексах на підставі контролю вмісту заліза.

Об'єкт дослідження – технології здобування та підвищення якості води.

Предмет дослідження – технології оцінки загального вмісту заліза та знезалізнання водопровідної води.

Результати наукової роботи. Опановано методики визначення заліза загального у воді, а також технологію зниження заліза за допомогою засипки Pyrolox, які в подальшому можна використовувати для закладів індустрії гостинності. Розроблена апаратурно-технологічна модель покращення якості води засобами знезалізнання, впровадження якої гарантує безперебійне функціонування закладів гостинних комплексів.

Ключові слова: засипка Pyrolox, залізо, знезалізнання, індустрія гостинності, очищення води, фільтрація, якість питної води.

ABSTRACTS

The work consists of five chapters, 85 pages, illustrated with 13 tables and 7 figures, conclusions and a list of bibliographic sources of 32 titles.

Purpose - to develop a hardware and technological scheme for the purification of tap water in hotel complexes based on iron content control.

Object of research - technologies for obtaining and improving water quality.

The subject of research is technologies for assessing the total iron content and deferrization of tap water.

Results of the research. The methods of determining total iron in water, as well as the technology of iron reduction using Pyrolox backfill, which can be further used for hospitality industry institutions, have been mastered. A hardware and technological model for improving water quality by means of iron reduction has been developed, the implementation of which guarantees the smooth functioning of hospitality facilities.

Keywords: Pyrolox backfill, iron, deferrization, hospitality industry, water purification, filtration, drinking water quality.

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ЗАЛІЗО У СКЛАДІ ВОДИ. ЗАСОБИ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ.....	11
1.1. Залізо як складова води. Хімічні перетворення заліза в воді.....	11
1.2. Сучасні методи знезалізнення води.....	17
1.3. Системи видалення заліза із води.....	26
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	37
2.1. Фільтрувальний матеріал Pyrolox для видалення з води заліза....	37
2.2. Методика визначення загального заліза у воді колориметричним методом з калій роданідом.....	38
2.3. Хід проведення визначення загального заліза у воді колориметричним методом з калій роданідом	38
2.4. Визначення показника загальної лужності.....	39
2.5. Визначення показника загальної жорсткості води.....	40
2.6. Методика визначення впливу іонів твердості (на прикладі Ca^{2+}) на видалення йонів заліза фільтрувальним матеріалом Pyrolox в статичних умовах за кислих значень рН.....	40
2.7 Методика визначення впливу іонів твердості (на прикладі Ca^{2+}) на видалення йонів заліза фільтрувальним матеріалом Pyrolox в статичних умовах за лужних значень рН.....	43
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	45
3.1. Дослідження впливу іонів твердості на процес знезалізнення води з використанням фільтрувальних завантажень.....	45
3.2. Побудова градувального графіку для визначення загального вмісту заліза за методикою з амоній роданідом.....	46
3.3. Визначення фізико-хімічних показників якості води з бювету парку Шевченка.....	48
3.4. Оптимізація досліджуваного технологічного процесу.....	51
3.5. Технологічна схема очищення водопровідної води у разі погіршення показників її якості в системі.....	59

РОЗДІЛ 4. МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА СИСТЕМОЮ НАССР.....	65
4.1. Загальна характеристика документації НАССР.....	65
4.2. Аналіз ризиків хімічних, фізичних і мікробіологічних факторів, що мають місце у виробництві.....	67
РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ.....	71
5.1. Економічна ефективність розробки та її соціальне значення.....	71
5.2. Екологічні проблеми у виробництві питної води та шляхи їх вирішення.....	74
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

ВСТУП

Вода – це найбільш важливий компонент всіх живих організмів. Вона слугує невід’ємною складовою представників рослинного і тваринного світів, а також і самої людини. Отже, стан та розвиток живих організмів залежить від характеристик води. Якість води визначається комплексом її хімічних, біологічних компонентів та фізичних властивостей, які зумовлюють придатність води для використання у певних цілях [1]. Загальний доступ до безпечної питної води у всіх частинах нашої планети є викликом для наукової спільноти, на яку покладено відповідальність за розробку очисних технологій. Безпечна питна вода має бути доступною для всіх громад у всьому світі. По Україні водна інфраструктура більш добре розвинена в міських районах, на відміну від сільської місцевості, де інфраструктура або погано розвинена, або відсутня. Отже, сільське населення потребує більшого забезпечення чистою питною водою [2].

Україна належить до числа країн Європи з найменшим запасом водних ресурсів й характеризується при цьому одним з найвищих рівнів водоспоживання. Одними з небажаних компонентів, що містяться у воді, є сполуки заліза (феруму) та марганцю. Їхній підвищений вміст характерний для поверхневих і підземних вод. Наявність цих сполук у природних водоймах створює проблему для безпосереднього використання води для питного та господарсько-побутового призначення, особливо якщо іони цих металів знаходяться в органічних комплексах [1].

Одним з завдань післявоєнного відновлення України полягає у розвиненні її туристичних послуг, перетворення її готельної індустрії на конкурентоспроможну і рентабельну структуру. Для цього потрібно створити:

- придатні умови щодо здійснення туристичної подорожі;
- стратегію розвитку готельного господарства;
- оптимальну нормативно-правову базу для розвитку туристської та готельної галузей;

- належні умови для залучення інвестицій для будівництва і реконструкції готельного господарства та ін. [2].

Сьогодні стан індустрії гостинності в Україні значно відстає від світових стандартів. Це спричинене низкою зовнішніх та внутрішніх чинників:

- російська збройна агресія проти України;
- стагнація національної економіки України;
- відсутність розвиненої індустрії туризму;
- обмежена платоспроможність громадян України;
- недосконала податкова система;
- недосконала нормативно-правова база в сфері туризму;
- недостатнє використання культурно-історичної спадщини [3].

Підвищення якості послуг індустрії гостинності неможливо без впровадження системи контролю та покращення якості води, оскільки від цього залежить і якість надання оздоровчих послуг, і якість їжі, і зовнішній вигляд тих об'єктів, які використовують воду (басейни, фонтани, СПА-салони та ін.).

Мета роботи – дослідження процесу очищення води від надмірного вмісту заліза у ній з використанням сучасних фільтрувальних завантажень.

Відповідно до поставленої мети сформульовані такі завдання досліджень:

- пошук літературних джерел щодо основних методів очищення води від заліза;
- проведення фізико-хімічного аналізу показників якості води з підземного джерела;
- дослідження впливу іонів твердості на процес знезалізнення води з використанням фільтрувальних завантажень;
- відпрацювання технологічних режимів проведення процесу очищення води від сполук заліза.

Об'єкт дослідження – процес очищення води від сполук заліза.

Предмет дослідження – вода з бювету; фільтрувальні завантаження Pyrolox.

Методи дослідження:

- теоретичні методи досліджень (аналіз, систематизація, порівняння, узагальнення інформації);

- експериментальні методики визначення заліза загального у воді, твердості загальної, лужності загальної; водневого показника рН і мінералізації води; побудови градувального графіку для визначення заліза загального за колориметричною методикою з калій роданідом при $\lambda = 490$ нм, $l = 5$ см;

- експериментальні проби покращення якості води з використанням засипки Pyrolox;

- методи апаратурно-технологічного моделювання (відтворення у графічній формі етапів) технологічного процесу знезалізнення водопровідної води.

Сукупність цих методів забезпечує виконання всіх поставлених у роботі задач.

Наукова новизна:

- систематизовані передові світові технології здобування, моніторингу і контролю, економії та підвищення якості води, які можуть бути впроваджені в заклади індустрії гостинності України;

- виведено рівняння для обчислення концентрації заліза в воді, яке дозволяє апроксимувати рівень концентрації заліза за показником значення оптичної густини розчину;

- запропонована технологія покращення якості водопровідної води, що використовується в закладах гостинних комплексів.

Практична цінність роботи. Опановано методики визначення заліза загального у воді, твердості загальної, лужності загальної; водневого показника рН і мінералізації води, які в подальшому можна використовувати у заходах оцінки та моніторингу якості води в закладах індустрії гостинності. Апробоване використання засипки Pyrolox задля зниження концентрації заліза в воді, визначена її ефективність. Описані передові технології підвищення

якості води, які можуть бути вивчені та впроваджені у закладах індустрії гостинності, що дозволить ефективно використовувати та заощаджувати природні водні ресурси України, здобувати воду в районах, віддалених від основних водних магістралей, покращувати якість води, отриманої як з природних джерел, так і з систем місцевого водогону. Розроблена апаратурно-технологічна модель покращення якості води засобами знезалізнення може бути впроваджена в гостинних комплексах тих районів України, де існує системна проблема з якісним складом водопровідної води (наявність великої кількості хімічних домішок), застарілою системою водогону, де можна очікувати погіршення якості води, пов'язані з технологічними та природними чинниками. Впровадження системи контролю та очищення води від сполук заліза гарантує безперебійне функціонування закладів гостинних комплексів.

РОЗДІЛ 1

ЗАЛІЗО У СКЛАДІ ВОДИ. ЗАСОБИ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ

1.1. Залізо як складова води. Хімічні перетворення заліза у воді

Залізо є одним із найпоширеніших металів у ґрунті Землі. Кількісний вміст феруму у воді пов'язаний з регіональними, кліматичними, ландшафтними та гідрологічними особливостями, що пояснює його присутність у всіх прісних водах, незалежно від їхньої басейної приналежності. Залізо становить близько 5% всієї маси мінералів земної кори, займаючи при цьому четверте місце серед 107 елементів. Не зважаючи на те, що воно знаходиться в зв'язаному стані у вигляді твердих мінералів, завдяки досить високій хімічній активності, елемент здатен взаємодіяти іншими складовими води, які визначають її кислотність. Завдяки цьому його сполуки часто зустрічаються у воді зі свердловин, і рідше в поверхневих водах. Підвищений вміст заліза в питній воді спричинює низку проблем, а саме надає воді буруватого забарвлення, неприємного смаку та запаху [1; 4].

Згідно з показником ГДК (гранично допустимої концентрації), вміст феруму у питній воді складає $0,2 \text{ мг/дм}^3$. Поява заліза у воді може мати промислове походження: гірничодобувна промисловість, металургійна промисловість, корозія металів тощо. Існує багато промислових технологій, де залізо або його домішки потрібно видалити з розчинів [5]. Для оцінки об'єму заліза у воді, у промислових системах водопідготовки використовується показник "Залізо загальне", який враховує усі форми феруму, оскільки склад води може містити кілька хімічних форм заліза. "Залізо загальне" – це сума концентрацій всіх типів заліза у воді [4]. Вміст феруму у воді вимірюється в міліграмах на літр (мг/дм^3). Максимально-допустимий вміст заліза для приготування напоїв — $0,1 - 0,2 \text{ мг/дм}^3$. Концентрація понад $0,2 \text{ мг/дм}^3$ і більше надає воді металевого присмаку, а також фарбує її у жовтий колір.

Залізо, навіть у невеликих кількостях, може бути одним із найнеприємніших елементів у воді. Всього 0,3 проміле заліза може

спричинити плями на світильниках, раковинах, підлозі та більшості інших речей, з якими воно контактує. Концентрації, нижчі за 0,3 проміле, все ще можуть мати серйозні негативні наслідки у виробничих процесах. Залізо впливає на смак їжі та напоїв, може сприяти закупорці труб і може викликати багато інших небажаних проблем. Отже, видалення заліза є важливою процедурою очищення води [6].

Споживання заліза може позитивно впливати на здоров'я людини, якщо воно представлено в помірних дозах. В середньому люди споживають приблизно 2 л води на день. Рівень заліза в сирій прісній воді зазвичай не перевищує 50 мг/дм³, а рекомендоване споживання може варіюватися від 10 до 50 мг/дм³ залежно від віку, статі та фізіологічного стану людини. Таким чином, споживання неочищеної води не буде нести загрозу для здоров'я людини. Видалення заліза – питання суто естетичне [5].

Залізо є важливим мікроелементом, який бере участь в процесі кровотворення. В кістковому мозку під впливом феруму синтезується особливий білок крові - гемоглобін, який відіграє роль у забезпеченні мозку та інших органів киснем. Також залізо відіграє важливу роль в роботі щитовидної залози і бере участь у формуванні багатьох білків та ферментів [4]. Залізо також входить до складу міоглобіну, білка, який переносить і зберігає кисень в м'язових тканинах. Воно важливе для здорового розвитку мозку та росту дітей, а також для виділення необхідної кількості гормонів, нормального функціонування різних клітин організму [7].

Дефіцит заліза є наслідком виснаження запасів заліза в організмі і виникає, коли всмоктування заліза не відповідає метаболічним потребам в залізі впродовж тривалого періоду, що негативно може позначитись на розвитку молодого організму, оскільки викликає стан анемію. Основні причини дефіциту заліза включають низьке споживання біодоступного заліза, підвищену потребу в залізі в результаті швидкого росту, вагітності, менструації та надмірної крововтрати, спричинену патологічними інфекціями, такими як анкілостоми та власоглави, що спричиняє шлунково-кишкову

втрату крові та порушення всмоктування заліза. Частота появи стану дефіциту заліза зростає у підлітків жіночої статі, оскільки менструальні втрати заліза накладаються на потреби швидкого росту. Іншими факторами ризику дефіциту заліза у молодих жінок є використання внутрішньоматкової спіралі та вегетаріанська дієта.

Під час вагітності спостерігається значне збільшення потреби в залізі внаслідок швидкого росту плаценти та плоду, розширення глобулярної маси. Дорослі чоловіки та жінки мають низький ризик дефіциту заліза, і кількість заліза в нормальній дієті зазвичай достатня для задоволення їхніх фізіологічних потреб [6].

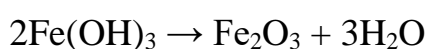
Харчовий дефіцит заліза виникає, коли фізіологічні потреби не можуть бути задоволені шляхом поглинання заліза з дієтичної їжі. Кількість заліза низька в популяціях, які споживають одноманітну рослинну дієту з невеликою кількістю м'яса. У багатьох країнах, що розвиваються, рослинна їжа рідко збагачується залізом, і частота анемії перевищує 50% у дітей молодше 4 років. Коли запаси заліза виснажуються і для еритропоезу не вистачає заліза, синтез гемоглобіну в еритроцитах порушується і з'являються гематологічні ознаки залізодефіцитної анемії.

Надлишковий вміст феруму має негативні наслідки. При постійному використанні для пиття води з аномальною кількістю заліза проявляється його токсична дія. Першими наслідками регулярного використання такої води є порушення роботи шлунково-кишкового тракту: метеоризм, здуття та нудота. Також можуть розвиватися алергічні реакції, як гемохроматоз (спадкове, генетичне захворювання, під час якого організм людини починає накопичувати залізо, яке надходить з їжею), який призводить до системного пошкодження функціонування та стану печінки, серцево-судинної та ендокринної систем [4].

Грунтові води містять залізо завдяки процесу фільтрації дощу через ґрунт, каміння та мінерали. Під час дощу залізо потрапляє в ґрунтові води. Кислотність води та розчинений кисень відіграють важливу роль у кількості

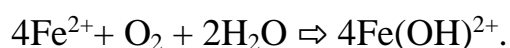
зібраного заліза. Висока кислотність і більш високий рівень розчиненого кисню призводять до більшої корозії [5].

Корозія залізних або сталевих водопровідних комунікацій може додавати залізо у воду: відбувається хімічне перетворення заліза в розчинне двовалентне залізо. За відсутності кисню та інших окиснювачів двовалентне залізо може бути винесено з води. Там, де присутні окиснювачі, легко утворюється нерозчинний гідроксид заліза. Він осідає всередині водопроводу, має тенденцію заважати течії води, особливо в трубопроводах гарячої води, відповідно до реакції:



Цей оксид заліза є іржею, що утворюється, коли залізна або сталева конструкція піддається впливу повітря і вологи. Залізо також може бути присутнім у воді в поєднанні з органічними речовинами. Багато природних і створених людиною органічних сполук вступають у реакцію, особливо з двовалентним залізом, утворюючи сильно забарвлені сполуки, які можуть спричинити появу плям. Ці сполуки, як правило, дуже стабільні та зв'язують залізо так, що воно не може вільно реагувати, як інші впливи. Залізо зв'язується в такі сполуки, які називаються «хелатними» або «органічними», і які створюють проблеми під час очищення води [8].

У воді залізо найчастіше зустрічається у вигляді іонів Fe^{2+} і Fe^{3+} , які утворюють органічні і неорганічні сполуки. Так, в поверхневих водах залізо (ферум) міститься головним чином в природних органічних комплексах (гуматах), які утворюють колоїдні суспензії. У підземних водах з відсутністю розчиненого кисню він зазвичай знаходиться у вигляді розчинних сполук з іонами Fe^{2+} . Такі особливості пов'язані з тим, що Fe^{2+} є нестабільним і під впливом кисню швидко перетворюється в Fe^{3+} :



Цей хімічний процес можна спостерігати у воді зі свердловини з високим вмістом феруму: відразу після викачування вода стає кристально-прозорою (в

ній розчинюється Fe^{2+}). Після відстоювання у відкритій ємності на повітрі або при нагріванні, вода може заплямовуватися і мати коричневий відтінок (Fe^{3+}).

Найчастіше у складі води можна зустріти наступні види сполук:

- Двовалентне залізо (Fe^{2+});
- Тривалентне залізо (Fe^{3+});
- Комплексне залізо;
- Колоїдне залізо;
- Органічне залізо;
- Бактеріальне залізо.

Двовалентне залізо (Fe^{2+}) повністю розчиняється у воді. Його можна виявити у воді зі свердловин. По мірі окиснення (на відкритому повітрі) вода набуває жовтуватого або рудуватого відтінку [4]. Стакан двовалентного заліза виглядає кришталево чистим. Цей тип заліза проявляється тоді, коли вода піддається впливу атмосферних умов, окиснюється і одразу випадає в осад. Як результат, у воді з вмістом двовалентного заліза змінюється колір, смак і запах. Його часто знаходять у глибоких колодязях, де на воду падає менше сонячного світла, в наслідок чого залізо не окиснювалося [9].

Тривалентне залізо (Fe^{3+}) є формою заліза, в яку перетворюється двовалентне залізо після окиснення. Воно формує дрібнодисперсний осад, а іноді пластівці ("іржу"), які треба видалити при виявленні на механічних фільтрах. Але частіше в воді міститься суміш Fe^{2+} та Fe^{3+} , що вимагає застосування класичних каталітичних матеріалів [4].

Комплексне залізо. Містить у своєму складі Fe^{2+} або Fe^{3+} , а також:

- мінеральні речовини: силікати, фосфати або поліфосфати, сульфати, ціаніди тощо;
- органічні речовини: гумінові, фульво, дубильні та ін. кислоти [10].

Колоїдне залізо – це залізо, частинки якого знаходяться в завислому стані. Це обумовлено тим, що вони мають дуже маленькі розміри (від 1 до 100 мкм) і не здатні осідати під силою гравітації. Вони видаляються в процесі

коагуляції, при якому в воду вводять речовини, що викликають злипання та осідання частинок. Потім вони механічно фільтруються.

Колоїдне залізо має вигляд заліза помаранчевого кольору, проте воно не осідає, якщо залишити його в склянці на ніч. Це ультратонке залізо часто поєднується з аніонами в розчині або органічному матеріалі. Невеликий розмір частинок робить більшість звичайних фільтрів неефективними. Для видалення більшості дуже дрібних частинок застосовуються професійно розроблені ультра- або нанофільтри.

Органічне залізо. Залізоорганічні сполуки – сполуки феруму з органічними аніонами, такими як гумінові кислоти. Ці домішки можуть мати безбарвний, жовтуватий або рудий кольори. Цей тип заліза найскладніше видалити через органічну природу. Для цього застосовуються наступні методи – мембранна фільтрація, окиснення і сорбція [4].

Бактеріальне залізо — це найскладніша та найнеприємніша конфігурація заліза, яка формується при використанні бактеріями заліза для метаболізму. Це яскраво-червоний осад, схожий на томатний суп, має студенисту або волокнисту структуру. Бактеріальне залізо з'являється як в природних водах, так і в трубопроводах, так і в свердловинах через погане або неналежне обслуговування. Хоча бактеріальне залізо саме по собі не шкідливе, воно може створювати умови для розвитку шкідливих патогенних бактерій [4; 10].

Термін «залізобактерії» застосовується до групи невеликих організмів, які, перетворюють двовалентне залізо в тривалентний стан через процеси свого метаболізму. Є підозри, що ці організми можуть навіть заселяти сталеві труби, щоб отримати залізо, що призводить до формування корозії. Коли залізобактерії ростуть, вони утворюють маси драглистої та ниткоподібної органічної речовини, яка фізично затримує утворений гідроксид заліза. Відомо, що великі розростання цих організмів повністю закупорюють труби. Залізобактерії можна ідентифікувати за допомогою мікроскопічного дослідження каламутності, яку вони виробляють, але потрібні лабораторні

засоби не завжди доступні. Наявність коричневого, схожого на слиз наросту на поверхні води в зливному бачку унітазу є хорошим свідченням присутності залізобактерій у системі [8].

Таким чином, щоб провести очищення води від заліза, буде недостатньо просто знати загальний вміст заліза; потрібно також знати різні форми, в яких цей елемент, ймовірно, присутній. Необхідно визначити всі нестабільні властивості води, щоб переконатися, що вона відповідає вимогам і може бути використана для потреб людини. Відповідно, необхідні такі вимірювання: температура, рН, окисно-відновний потенціал, розчинений O_2 , доступний CO_2 , розчинене залізо. На місці або в лабораторії необхідно визначити концентрації розчиненого кремнезему, а також параметри, які, ймовірно, потребуватимуть очищення від заліза. Бажано також провести дослідження під мікроскопом, щоб встановити наявність залізобактерій [10].

1.2. Сучасні методи знезалізнення води

Видалення із води заліза - одне із найскладніших завдань водоочищення. На сьогодні не існує універсального економічно виправданого методу, який був би ефективним у будь-яких випадках. Кожен з існуючих методів можна застосовувати тільки у певних межах. Раціональний метод видалення феруму з води характеризується пробним знезалізненням, яке проводять безпосередньо біля джерела водопостачання. Оскільки здійснення даного процесу завжди пов'язане із значними труднощами, можна підбирати метод знезалізнення за стійкістю форми феруму у воді та показниками якості самої води [11].

В наші часи запроваджено невелику кількість методів знезалізнення підземних вод. Їх можна розділити на 4 групи:

1. Реагентні.
2. Безреагентні:
 - каталітичні;

- іонообмінні;
- біохімічні (біологічні).

Вони всі мають свої переваги й недоліки, але при тому (крім іонообмінного) в їхню основу закладено окиснювання двовалентного заліза до тривалентного, під час якого ферум переходить у нерозчинну форму, яку затримують фільтри.

1. Реагентний метод. Широко використовується у промисловій водопідготовці великих об'ємів води. Він має великий спектр використання різноманітних реагентів, таких як: атмосферний кисень, вапно, гіпохлорит тощо [12].

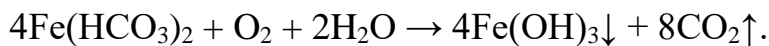
Метод ґрунтується на введенні у вихідну воду реагенту, який сприяє переходу розчинного двовалентного заліза у його нерозчинну тривалентну форму. Цього можна досягти двома шляхами — введенням окиснювача (атмосферний кисень, озон, хлор і його сполуки, перманганат калію та ін.) або підвищенням рН води вище 8 (вапняне молоко, сода, та ін.), а також використанням обох принципів. Останній застосовується в комплексній водопідготовці: пом'якшенні, знезалізненні, видаленні марганцю. Після переходу феруму в нерозчинну форму його сполуки затримуються в товщі фільтрувального завантаження, а очищена вода надходить споживачеві.

В основі реагентного знезалізнення води лежать наступні процеси:

- 1) руйнування комплексних органічних сполук заліза за допомогою окиснювачів або шляхом підвищення рН;
- 2) забезпечення умов для гідролізу солей заліза і утворення пластівців гідроксиду заліза;
- 3) їхнє збільшення шляхом злипання твердих частинок, або утворенням пухких;
- 4) виділення в осад суспензії, що утворилася, або відділення її від води шляхом фільтрування через зернисті матеріали [12].

Для знезалізнення води, найбільше поширення отримав метод окиснення розчинного заліза. Із всіх окиснювачів найбільш безпечним і дешевим є

атмосферний кисень, який додається у воду різними способами. Найпоширеніші методи подачі повітря — спрощена аерація, вакуумно-ежекційний метод, напірна аерація — подача повітря компресором. При цьому відбувається наступна реакція [11]:



При застосуванні реагентних методів окиснення заліза потрібно використовувати додаткове обладнання. При використанні повітря потрібен компресор, який буде його нагнітати в розчин, а також ємність чи вузол змішування для його кращого розчинення під час перемішування. У випадку використання хлору, як окисника, потрібно організовувати ціле реагентне господарство. При відсутності газоподібного хлору можна використовувати гіпохлорит та діоксид хлору, які є більш простими в експлуатації внаслідок більшої безпечності, але при їх використанні залишається потреба у використанні дозуючого обладнання, а також в організації логістики реагентів. Також існує метод використання озону, але він не є економічно доцільним, оскільки потребує дороговартісного обладнання [13].

2. Безреагентні методи за своєю суттю – це фізико-хімічні методи знезалізнення води, які передбачають введення окиснювачів Fe^{2+} . В цих методах окиснювачем є кисень повітря. Суть цих методів полягає в переведенні розчинного в ній двовуглекислого заліза $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ в малорозчинний гідроксид заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$, який затримується на фільтрах. Серед безреагентних методів, саме біохімічний (біологічний) набув широкого застосування, при якому специфічні види бактерій сприяють дуже швидкому окисненню двовалентного заліза Fe^{2+} , а продукти окиснення ущільнюються [14].

Так, наприклад, застосування біологічного методу знезалізнення дає змогу підвищити до 10...20 м/год швидкості фільтрування на біореакторах, підвищити в 5-6 разів брудомісткість фільтрів, в 2-3 рази тривалість фільтроциклів [15].

На першому етапі розробки проаналізовані біогеохімічні цикли заліза, марганцю, сірки, вивчена роль біотичних процесів у цих циклах, та проаналізовано формування заліза і марганцю у водах на території України, та їхній вплив на здоров'я людини. Також проаналізовані технології очищення води від понад-нормових концентрацій заліза і марганцю.

На другому етапі проведено термодинамічне моделювання процесу аерації природної підземної води Бучакського водоносного горизонту з понад-нормовими концентраціями заліза, марганцю, сірководню. В процесі моделювання виявилась відсутність термодинамічної перешкоди окисненню Mn^{2+} . В процесі видалення понад-нормових концентрацій Mn^{2+} на поверхні фільтруючого завантаження формується каталітична плівка з Тодорокіту – мінералу, який містить певну кількість вищих оксидів марганцю, або органічних сполук з високим вмістом оксидів марганцю [16].

1) Каталітичний метод. В основу цього методу закладено каталітичне окиснення двовалентного заліза до тривалентного у товщі фільтрувальних обладнань таких як: «Aquamandix», «Pyrolox», «чорний пісок», «сульфовугілля», «Green Sand», «Birm», «МТМ». Часто вони застосовуються разом з додатковою подачею повітря [17].

Каталітичні завантаження – це природні матеріали, що містять у структурі яких міститься каталізатор окиснення, яким найчастіше є діоксид марганцю або матеріали, в які він введений за допомогою обробки. У колонах з такими матеріалами одночасно відбуваються три процеси: окиснення (перехід Fe^{2+} в Fe^{3+}); осадження та фільтрування осаду. Залізо, яке було окиснене на поверхні гранул, через певний час змивається потоком зворотного промивання. Матеріал, що прореагував, або регенерується, або замінюється новим [4].

Фільтрувальні завантаження можуть використовуватися як у чистому вигляді, так і бути модифікованими, які називають сорбенти-каталізатори. Доцільність застосування того чи іншого завантаження визначається рядом параметрів (швидкістю, поверхнею фільтрації та ін.), а також методом та

умовами попередньої обробки. Відомо, що при наявності каталізаторів - розчинених у оброблюваній воді іонів міді, марганцю і фосфат-іонів, а також при контакті її з гідроксидом тривалентного заліза, швидкість окиснення двовалентного заліза киснем значно зростає. З підвищенням значення рН середовища час, який витрачається на окиснення сполук двовалентного заліза, значно скорочується. Всі системи, засновані на каталітичному окисненні, визначаються великою питомою вагою і великими витратами води при зворотному промиванні і мають ряд загальних недоліків.

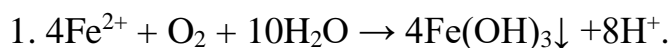
По-перше, вони неефективні щодо заліза, пов'язаного з органічними сполуками, так як на поверхні гранул фільтруючого матеріалу з часом утворюється плівка з органічних речовин, яка ізолює каталізатор від води, і призводить до зниження каталітичної здатності фільтруючої засипки до нуля.

По-друге, фільтрувальні завантаження каталітичного типу призначені для води з вмістом заліза не більше 10-15 мг/дм³ [18].

По-третє, в їхньому складі присутній перманганат калію, який є забороненою речовиною у вільній торгівлі, що ускладнює використання запропонованих матеріалів, оскільки потрібно отримати відповідні дозволи на реагент і знайти того постачальника, який їх теж має [17].

Каталітичні методи на основі діоксиду мангану. Найпростішим варіантом даного завантаження є природний піролюзит (мінерал на основі MnO₂). Ще більш активні властивості мають штучні завантаження. Більшість з них паралельно з ферумом, манганом і сірководнем можуть видаляти миш'як, уран, важкі метали та радіонукліди. Такі фільтрувальні матеріали завантажуються у балонні системи фільтрації води з автоматичним клапаном.

На повітрі окиснення Fe²⁺ починає відбуватися через 1-2 години, а випадання осаду не менш ніж через 10 - 20 годин. Хімічно процес окиснення можна описати так:



Внаслідок підкислення середовища може відбуватися уповільнення або зупинка процесу осадження. Воно йде шляхом розчинності гідроксиду. В каталітичних процесах відбувається посилення окиснюваної дії через наявність на поверхні іонів 3-х або 4-х валентних оксидів мангану. Іони проявляють сильні окиснювальні властивості і забезпечують високий рівень очищення води. До переліку таких завантажень відносяться: «Greensand», «Birm», «Pyrolox». Для регенерації необхідно провести регулярну пряму і зворотну промивку, а також періодичну обробку розчином 0,2 - 0,3% перманганату калію.

До недоліків цього методу можна віднести:

- висока насипна щільність матеріалів, яка призводить до великої втрати води на промивку;
- низька ефективність при великій концентрації заліза (10 - 15 мг/дм³);
- використання прекурсорів для регенерації;
- ймовірність вторинного забруднення води манганом;
- необхідність попереднього очищення від органічних речовин;
- метод не діє на бактеріальне залізо і погано видаляє органічне [4].

Проблема часткового чи повного окиснення іонів заліза в процесі водопідготовки не настільки проста як здається. Навіть без спеціальної аерації води в неї потрапляє певний об'єм кисню, що спричинює часткове окиснення іонів двохвалентного заліза та забруднення системи очищення гідроксидом трьохвалентного заліза [18].

2) Іонообмінний метод. Сполуки заліза можуть знаходитися у воді у вигляді іонів, неорганічних, органічних колоїдів і комплексних сполук. Підвищені масові концентрації заліза стають причиною забарвленості та неприємного металевого присмаку технологічної води, які погіршують її органолептичні властивості. Масова концентрація заліза у складі води не повинна перевищувати 0,05 мг/дм³, яка є основою для лікєро-горілчаних напоїв. В процесах знезалізнення застосовують спеціально підготовлені фільтрувально-сорбційні матеріали (ФСМ) [19].

Знезалізнення шляхом катіонування застосовується при одночасному знезалізненні й пом'якшенні води, а також у тих випадках, коли не застосовується збагачення води киснем при надходженні її на катіонітні фільтри, і низькому значенні рН. На катіонітовому фільтрі може бути затримано тільки те залізо, яке перебуває в іонній формі, при цьому відбувається заміщення іонів заліза на іони натрію. Знезалізнення проводиться на катіонітних фільтрах, які мають шар катіоніту, товщиною 1,5-2,5 м. Корпус фільтрів повинен бути покритий антикорозійною сполукою, а дренажна система зроблена з корозійно стійкого матеріалу або нержавіючої сталі щоб уникнути збагачення води залізом. Швидкість фільтрування — до 25 м/год. Регенерацію роблять 5-6%-м розчином повареної солі. Через кожні 5...20 регенерацій катіонітове завантаження треба промити перед наступною регенерацією 1%-м розчином інгібірованої соляної кислоти.

При знезалізненні іонообмінним методом, оброблювана вода не повинна містити розчинений кисень, оскільки гідроксид тривалентного заліза, у іонообмінних матеріалах, ускладнює процес видалення розчиненого феруму. Іоніти мають гелеву, макропористу й проміжну структуру. Гелеві іоніти позбавлені справжньої пористості й здатні до іонного обміну тільки в набряклому стані. Макропористі іоніти мають розвинуту поверхню через наявність пор і тому здатні до іонного обміну як у набряклому, так й у ненабряклому стані. Гелеві іоніти характеризуються більшою обмінною ємністю, ніж макропористі, але поступаються ним осмотичною стабільністю, хімічною й термічною стійкістю. Іоніти представлені аніонітами — матеріалами, здатними до обміну аніонів, і катіонітами — матеріалами, що обмінюють катіони.

Аніоніти діляться на:

- сильноосновні — здатні до обміну аніонів будь-якого ступеня дисоціації в розчинах при будь-яких значеннях рН;
- слабоосновні — здатні до обміну аніонів з розчинів кислот при значенні рН 1-6, проміжної й змішаної активності.

Катіони підрозділяються на:

- сильнокислотні — ті, що обмінюють катіони в розчинах при будь-яких значеннях рН;
- слабокислотні — здатні до обміну катіонів у лужних середовищах при значенні рН більше 7.

Іонообмінний метод є досить специфічним, оскільки орієнтований на значення рН 6,2 і менше, тому як самостійний метод видалення заліза він майже не використовується, особливо при високому вмісті заліза в воді [17].

3) **Біохімічний (біологічний) метод** очищення природних вод від заліза полягає в тому, що в реакторі на фільтруючому завантаженні висівають колонії залізо-марганець споживаючих бактерій типу *Metallogenium personatum*, *Caulococcus manganifer*, *Bacteria manganicus*, які поглинають залізо та марганець з води, необхідного середовища для їхньої життєдіяльності. Перед тим, як розпочати фільтрацію, воду спочатку насичують киснем з повітря.

В якості завантажень можуть бути використані як природні так і синтетичні сорбенти. Біоплівку вирощують з мікроорганізмів, таких як *Galionella ferruginea*, *Clonothrix fusca*, *Lepthothrix ocharea*, *Lepthothrix echinata* і *Nitrosomas Nitrosobacter*, які в процесі своєї життєдіяльності утворюють на 45 зернах завантаження пористу масу, що містить оксиди заліза [18, с. 44-45]. Залізо видаляється зі швидкістю фільтрування до 22 м/год.

Вважається, що інтенсивний ріст залізобактерій відмічається у воді з концентрацією від 10 до 30 мг/дм³ заліза, але за результатами ряду досліджень вони можуть активно розвиватися і при більш низьких концентраціях феруму. При цьому єдиною умовою розвитку є підтримання кислотності середовища на достатньо низькому рівні при одночасному доступі кисню з повітря, навіть в дуже малій кількості.

Більшість бактерій, що окислюють сполуки заліза, можуть окислювати також сполуки марганцю (наприклад, *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Hyphomicrobium*, *Siderocapsa*, *Siderocystis*, та *Metallogenium*) [18].

Застосування біохімічного методу є доцільним лише у слабкокислих та нейтральних водах із низьким або нормальним лужним середовищем. Під час проведення досліджень проводять переобладнання існуючих традиційних схем до схем за методом біологічного знезалізнення, через впровадження наступних заходів:

- заміни фракційного складу фільтруючого завантаження із дрібнозернистих фракцій на: гравійне завантаження; завантаження з кварцового піску середньої зерності; завантаження гранітного щебню, або пінополістиролу;
- проведення коригування величин активної реакції (рН) та окисно-відновного потенціалу (Eh) середовища;
- використання підлугування вихідної води розчином кальцинованої соди при знезалізненні слабкокислих вод із низьким лужним резервом;
- проведення коригування концентрації кисню перед біореактором [15].

Одним із засобів біохімічного методу знезалізнення води є *біологічне очищення*. Воно базується на застосуванні бактерій *Gallionella*, *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Clonothrix*, *Sphaerotilus* і *Siderocapsa* для засвоєння двовалентного заліза з води [8]. Завдяки виробленню ферментів і біополімерів ці бактерії здатні біологічно окиснювати залізо, каталізуючи окиснення двовалентного металу за допомогою розчиненого кисню, навіть при низьких концентраціях, і фіксуючи його в своїх клітинних мембранах. Ці бактерії, ймовірно, розвиваються в умовах, коли фізико-хімічне окиснення заліза неможливо [10].

Високий рН і концентрація кисню, а також наявність сірководню (H_2S), іонів амонію (NH_4^+), цинку (Zn) і відбілюючих речовин (речовин, які освітлюють предмет шляхом розчинення речовин, що утворюють колір, або шляхом зміни їхніх світлопоглинальних властивостей) негативно впливатимуть на дію бактерій. Здійснення біологічного очищення починається з аерації води, що спричинює видаленню H_2S . Параметром для контролю є потік повітря, рН і концентрація O_2 . Основним ризиком є надмірне

очищення CO_2 , що призводить до високого рН і осадження $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Процес закінчується фільтрацією [20].

Переваги біологічного видалення заліза:

- швидке окиснення: немає необхідності в масштабному окисненні, а лише внесення повітря під тиском;
- відсутність потреби в реагентах (додатковому окиснювачі, корекції рН, флокулянті);
- велика здатність до утримання: окиснене залізо видаляється в набагато більш компактній формі;
- висока швидкість фільтрації: завдяки міцній природі біологічного агрегату та вищому вмісту піску (від 1,1 до 1,5 мм), фільтрація може бути приблизно в 5 разів швидшою, ніж у фізико-хімічному режимі, із збереженням того самого часу циклу фільтрації; в окремих випадках ці швидкості можуть досягати $40\text{-}50 \text{ м}\cdot\text{год}^{-1}$;
- економічно ефективна зворотна промивка: відсоток води для зворотної промивки приблизно в 5 разів нижчий, ніж у порівнянні з фізико-хімічним процесом видалення заліза, і в деяких випадках фільтри можуть бути промиті сирією водою. Проте зворотне промивання фільтрів хлорованою очищеною водою не рекомендується, оскільки це може частково знищити популяцію бактерій, що видаляють залізо;
- легша обробка осаду: більш концентровані води зворотного промивання особливо підходять для згущення та зневоднення [10].

1.3. Системи видалення заліза із води

Протягом багатьох років багато компаній цілеспрямовано вдосконалюють численні методи, технологічні схеми та обладнання для видалення із води заліза [21].

Основні засоби покращення стану води:

- 1) Фільтрація;

- 2) Окиснення;
- 3) Пом'якшення.

1) Найпростішим методом є механічне **фільтрування** на магістральних фільтрах з поліпропіленовими картриджами, які дозволяють затримувати вже окиснене залізо, а іноді самі сприяють його окисненню. Метою цього засобу є не видалення феруму з води, а лише механічне його утримання перед наступними фільтрами. Часто в нагоді також стають засипні колони з інертними хімічними матеріалами. За дуже високих концентрацій заліза рекомендується встановлювати балони з завантаженням Filter Ag⁺, яке призначене для видалення завислих часточок розміром понад 30 мкм [8].

Ключовим параметром для контролю фільтрації є каламутність і загальний напір. Середовище фільтра може складатися з кількох сполук, наприклад, з рисової соломи, вапняку і кварцового піску. Після фільтрації брудну воду слід зібрати для подальшої обробки перед викидом у навколишнє середовище або використовувати повторно, за необхідністю [20].

Відносно високі концентрації неорганічного заліза, двовалентного або тривалентного заліза, можна видалити за допомогою залізних фільтрів. За зовнішнім виглядом і розміром вони схожі на звичайні пом'якшувачі води, але містять шари середовища, які мають слабку окислювальну здатність. Коли вода, що містить залізо, пропускається через шар, будь-яке розчинне двовалентне залізо переходить у нерозчинну форму заліза, а потім фільтрується з води. Будь-яке залізо, що випало в осад, видаляється простою механічною фільтрацією. У цих залізних фільтрах можна використовувати кілька різних фільтрувальних матеріалів, включаючи марганцевий зелений пісок, мультимедійні (багатошарові) фільтри, фільтрувальні завантаження «Birm», «MTM», та інші синтетичні матеріали. У більшості випадків вищі оксиди марганцю виробляють бажану окислювальну дію. Періодична зворотна промивка необхідна для видалення осадженого заліза з шару, а регенерація для відновлення окисної здатності фільтруючого середовища застосовується дуже рідко. Залізний фільтр вимагає високої швидкості потоку

для належного зворотного промивання, проте такі потоки води не завжди доступні [8].

2) Якщо вода містить залізо в кількості більше 3 мг/дм³ застосовують технологію **окиснення**. У якості окислювача може застосовуватися атмосферний кисень (аерація), хлор, перекис водню, перманганат калію, діоксид хлору або озон. Кожен із цих окислювачів перетворює розчинене залізо на окиснену тривалентну форму заліза, яке втрачає розчинність і легко захоплюється фільтром. За винятком атмосферного кисню, всі перераховані хімічні окислювачі вимагають застосування дозуючого обладнання [21].

Оскільки окислювальна дія є відносно м'якою, вона не буде працювати, якщо органічна речовина, поєднана із залізом або окремо від нього, присутня у воді. При цьому вона не зможе знищити залізобактерії. Надзвичайно високі концентрації заліза можуть вимагати незручного частого зворотного промивання або регенерації [8].

3) Для видалення заліза у домашніх умовах найчастіше використовується **пом'якшувачі води**, які послідовно видаляють як ферум, так і тверді частинки. Проте, пом'якшувачі можуть бути не завжди ефективними. Розчинені органічні сполуки заліза можуть проходити через пом'якшувач, попри іонообмін та фільтруючу дію шару пом'якшувача. Тверді частки та залізобактерії можуть призвести до швидкого забруднення пом'якшувача. Також залізобактерії можуть розростатися та проходити крізь нього. При виявленні таких речовин у воді не слід застосовувати пом'якшувачі.

Якщо пом'якшувач сильно забруднений, його важко очистити, окрім радикальних методів, більшість із яких є непрактичними. Часто практичніше замінити шар новим іонообмінним полімером, ніж провести очищення. Злегка або помірно забруднений полімер часто можна очистити за допомогою ряду запатентованих складів, до яких належать кілька слабких кислот, відновники, секвестри або диспергуючі агенти.

Деякі особливості конструкції пом'якшувача води можуть ще більше мінімізувати забруднення залізом, а саме: достатній надводний простір над шаром пом'якшувача, щоб забезпечити повне розширення шару під час зворотного промивання, достатній час зворотного промивання в циклі регенерації та великі вихідні отвори для зворотного промивання, щоб дозволити залізу легко виходити з резервуара. Використання більш частих регенерацій із повністю автоматичними клапанами пом'якшувача допомагає видалити осад заліза до того, як він «застигне», а швидке промивання його низхідним потоком ущільнить шар і зменшить кількість заліза в пом'якшеній воді. Серед інших факторів, які впливають на здатність пом'якшувачів успішно видаляти залізо, є: форма сполуки заліза, його концентрація, конструкція пом'якшувача, наявність або відсутність органічних речовин і розчиненого кисню, процедури очищення, частота регенерації, рН, температура та ін. [8].

Якщо вміст загального феруму у воді становить від 0,3 до 6 мг/дм³, жорсткість води вище середньої, у воді містяться супутні домішки амонію і марганцю, проте не немає сірководню, тоді застосовується система знезалізнення води на основі «іонного обміну». Полімери натрію, захищені шарами поглиначів органіки і окисненого заліза, в першу чергу видаляють залізо з води перед видаленням кальцію і магнію (солей жорсткості). Однак, існує два обмеження:

- у воді не повинно бути залізобактерій і сіркобактерій;
- рН повинен бути в діапазоні від кислого до нейтрального (рН $\leq 7,3$).

Якщо вміст заліза у воді перевищує 3 мг/дм³, 1-й цикл регенерації повинен бути здатним вимити все окиснене залізо. Незважаючи на те, що застосування спеціального іонообмінного пом'якшувача при концентрації заліза більше 5 мг/дм³ не рекомендується, цей метод буде ефективним при рН ≤ 7 .

Нижче ми наводимо стислий огляд найпопулярніших систем видалення заліза у побутовій водопідготовці з оцінкою основних переваг та недоліків [21].

Розглянемо детально системи видалення заліза у побутовій водопідготовці.

Основні системи:

- 1) **Дозування хлору;**
- 2) **Аерація води;**
- 3) **Використання перманганату калію;**
- 4) **Використання озону;**
- 5) **Застосування фільтраційних завантажень «Pyrolox», «Filoх», «Mang-Ox», «Katalox»;**
- 6) **Використання сірководню;**
- 7) **Зворотній осмос.**

Системи знезалізнення на основі дозування хлору.

Хлор – потужний дезінфектор, але відносно слабкий окислювач. Він окислює залізо, яке потім видаляє осадовий фільтр, залишки хлору та хлорпохідні сполуки, а також видаляє фільтр з гранульованим активованим вугіллям, розмір якого також забезпечує достатній час контакту (від 5 до 10 хвилин) для вилучення з води хлору та хлорованих вуглеводнів. Простий розрахунок розміру фільтра з GAC для видалення хлору здійснюється на основі правила: 1 кубічний фут GAC (28,3 л) підтримує швидкість потоку 15 л/хв.

Одним з неприємних недоліків дозування рідкого хлору – здатність кристалізуватись у точці подачі. Загалом, якщо вміст у воді заліза не більше 8 мг/дм³, змішування хлору буде економічним методом окиснення заліза та дезінфекції води [21].

Системи знезалізнення на основі аерації води.

Найбільш поширеними методами знезалізнення є аераційні, які забезпечують необхідне насичення води киснем повітря. Сутність цих методів

полягає у обробці води вітром з метою окиснення двохвалентного заліза до $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ключовими параметрами, які потрібно контролювати для досягнення цієї операції, є рН і кількість кисню. Поширеність аерації зумовлена відсутністю необхідності введення в оброблювану воду хімічних реагентів (окислювачів), що дозволяє забезпечувати низькі експлуатаційні витрати. У зв'язку з цим основні напрямки розвитку методів знезалізнення підземних вод орієнтуються на вдосконалення безреагентних, аераційних, гетерогенних, автокаталітичних процесів окиснення заліза. Найпоширенішими способами аерації є каскад і продувка. Каскадний аератор допомагає воді легко вловлювати кисень повітря. Данна система оптимальна при проточному режимі покрову та наявності гравію. Продування повітря – це нагнітання повітря за допомогою пристрою, підключеного на дні водного резервуару [19; 21].

Кисень (O_2) – компонент атмосферного повітря; відмінний окислювач для заліза, марганцю і сірки. У наші часи системи знезалізнення на основі попередньої аерації води залишаються найпопулярнішими у світі [21]. Було проведено дослідження ефективності видалення сполук заліза та марганцю при використанні сучасних сорбційних завантажень: а саме, «Pyrolox» та «Birm» [1; с.10]. До переваг цих завантажень слід віднести: високу міцність матеріалу, низьку зношуваність; тривалий термін використання; відсутність потреби хімічних реагентів до регенерації (для цього достатньо лише зворотної промивки) та велику температурну стійкість. Результати експериментальних досліджень наведено в табл. 1.1 та табл. 1.2. За результатами проведених досліджень встановлено, що при очищенні води шляхом фільтрування через фільтраційне завантаження «Birm» та «Pyrolox», ефект видалення сполук заліза в середньому становить 55% [1].

Таблиця 1.1.

**Аналіз вмісту заліза (мг/дм³) у воді до та після очищення
через фільтраційне завантаження «Virm» та «Pyrolox» [1]**

№	Вихідна вода		Профільтрована через «Virm»		Профільтрована через «Pyrolox»		ДСанПін 2.2.4-171-10 мг/дм ³
	Водопровідна вода (1)	Бювет (2)	1	2	1	2	
1	0,321	0,12	0,149	0,08	0,229	0,10	≤0,2
2	0,303	0,10	0,202	0,10	0,236	0,08	≤0,2
3	0,329	0,12	0,249	0,08	0,249	0,10	≤0,2

Аналіз видалення сполук марганцю (табл. 1.2) показав високу ефективність, зокрема сорбент «Virm» видалив 90% сполуки марганцю.

Таблиця 1.2.

**Аналіз вмісту марганцю (мг/дм³) у воді до та після очищення
через фільтраційне завантаження «Virm» та «Pyrolox» [1]**

№	Водопровідна вода (1)	Бювет (2)	Профільтрована через «Virm»		Профільтрована через «Pyrolox»		ДСанПін 2.2.4-171-10 мг/дм ³
			1	2	1	2	
1	0,135	0,03	0,05	0	0,06	0,01	≤0,05
2	0,112	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02	≤0,05
3	0,201	0,03	0,05	0,01	0,05	0	≤0,05

Системи попередньої аерації на основі контактної ємності та компресора, незважаючи на прийнятну ефективність у завданнях видалення заліза та сірководню, у свою чергу представляють комплект розрізненого обладнання, що потребує постійної уваги з боку споживача та великої кількості послуг з боку компанії-інсталятора. Інсталятор та споживач не здатні забезпечити прийнятний рівень обслуговування та експлуатаційний контроль.

Щоб видалити залізо з води, потрібно провести його повне окиснення. Залізо не повністю окислюється у системах аерації і утворює велику кількість шламу, що накопичується в проточних каналах, у верхній частині корпусу фільтра і в фільтрувальному середовищі. Регенерації протитечею сприяють тільки частковому уповільненню цієї проблеми, проте коли на сантехніці виявлені жовті плями, тоді стає занадто пізно. Також, в воді не повинно бути

ніяких залізобактерій, що призводить до катастрофічних наслідків. Кисень – потужний «стероїд» для розмноження залізобактерій та утворення біоплівки з величезною кількістю залізовмісного шламу.

Нижче наведені системи знезалізнення на основі нерозчинності та осадження, які сприяють видаленню додаткової кількості феруму з води. В їхню основу входить використання хімічних реагентів, таких як перманганат калію (KMnO_4), перекис водню (H_2O_2) і озон (O_3). Роль цих агентів полягає у прискоренні перетворення заліза в $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ключовим параметром для контролю є ступінь видалення реагенту по відношенню до заліза. Ефективність видалення сильно залежить від рН і часу контакту [20].

Системи знезалізнення на основі перманганату калію.

У недалекому минулому системи знезалізнення води на основі регенерації перманганатом калію (KMnO_4) були найпростішим і найпоширенішим методом очищення води від заліза. Більшість «старих» фільтрів-знезалізнювачів містили «Greensand» — глауконітовий зелений пісок з активним діоксидом марганцю, що відновлюється перманганатом калію в процесі періодичної регенерації. Ця технологія дозволяла видалити до 10 мг/дм^3 заліза та марганцю при значенні рН більше 7. Проте перманганат калію є дуже дорогим та дефіцитним окислювачем в Україні, який спричинює небажане фарбування будь-яких поверхонь, при контакті з ними. Крім великих проблем пов'язаних з обслуговуванням систем знезалізнення на основі перманганату калію для споживачів, регенераційний розчин не сумісний з біосептиком, а порушення технології здатне спричинити підвищення токсичної дії марганцю в обробленій воді. Гранично допустима концентрація (ГДК) у воді складає до $0,05 \text{ мг/дм}^3$. У середньому 1 г KMnO_4 призводить до видалення $1,06 \text{ г}$ заліза.

Системи знезалізнення на основі озону.

Озон (O_3) — більш потужний окислювач в порівнянні з хлором, який не бере участь у реакціях заміщення, притаманних останньому. Однак обладнання для отримання озону вимагає високих початкових

капіталовкладень і експлуатаційних витрат на електроенергію. Сира вода зі свердловини контактує з озоном на початковому етапі. Озон окислює залізо, сірководень та марганець. Продукти окиснення видаляються фільтром з гранульованим активованим вугіллям, що також забезпечує паралельне розкладання залишкового озону у воді. Озонатори на основі ультрафіолету дозволяють отримати лише невелику кількість озону для окиснення відносно низьких рівнів заліза, сірководню і марганцю. Загалом застосування озону – відмінна технологія, але капіталовкладення можуть виявитися в кілька разів вищими в порівнянні з побудовою інших систем знезалізнення, а помилки на етапі проєктування можуть створити більше проблем, ніж їх було усунуто (наприклад, утворення органічного вуглецю, що легко засвоюється, з подальшим повторним бактеріальним зараженням обробленої води) [21].

Системи знезалізнення на основі важких завантажень «Pyrolox», «FiloX», «Mang-Ox», «Katalox».

Усі фільтруючі середовища із закінченням «ох» виготовлені на основі піролюзиту – природної кристалічної бета-модифікації діоксиду марганцю. Діоксид марганцю – потужний каталізатор окиснення розчиненого заліза розчиненим киснем. Окиснене залізо фільтрується у шарі завантаження. Всі ці середовища мають насипну вагу близько 2 кг/л. Це означає, що або недостатньо гідравлічної потужності насоса для розпушування завантаження і видалення гідроксиду заліза при зворотному промиванні, або глибина свердловини недостатня, або кількість технологічної води скидається в дренаж при щоденному промиванні дуже велика в порівнянні з реальним обсягом очищення. Щоденне промивання – вимога виробників, спрямована на запобігання швидкого цементування важкого завантаження.

Виняток із правил — «Katalox Light», фільтруюче середовище на основі більш агресивного порівняно із звичайним піролюзитом гамма діоксиду марганцю. «Katalox Light» легший за інші фільтруючі середовища на основі діоксиду марганцю, важить 1,1 кг/л, містить важкий гамма діоксид марганцю (до 10%) на поверхні ядра з легкого цеоліту. «Katalox Light» зберігає

працездатність при рН від 6 до 10,5 і видаляє до 15 мг/дм³ заліза за наявності окислювача. Заміна «Katalox Light» відбувається кожні 7-10 років.

На сьогоднішні «Pyrolox», «Filoх», «Mang-Ox», «Katalox» застосовуються в багатьох системах знезалізнення по всьому світу з високою ефективністю щодо заліза, марганцю та сірководню. Однак, для побутового сектора застосування ці завантаження надмірно важкі і марнотратні з точки зору підтримки частоти зворотних промивань та об'єму води, що скидається в дренаж.

Системи знезалізнення на основі перекису водню (H₂O₂).

Перекис водню – це окислювач «преміум-класу», що має біоцидну дію, меншу залежність від рН і більшу окисну потужність у порівнянні з киснем, хлором, діоксидом хлору і перманганатом калію. Перекис водню не залишає у фільтрі, трубопроводах та проточних каналах клапана управління залізовмісний шлам та залізовмісні біоплівки. На відміну від хлору, перекис водню не бере участі в реакціях заміщення і не створює побічні хлорорганічні продукти. Дозування H₂O₂ здійснюється у трубопровід максимально просто. Дозуючий насос здійснює подачу в трубопровід на вході у фільтр під керуванням імпульсного водолічильника, контролера потоку. Перекис водню окислює залізо, марганець та сірководень практично у будь-яких кількостях, потужно та швидко, часто без застосування контактної ємності. На відміну від хлору, перекис водню не прискорює процес старіння компонентів дозуючого насоса і не кристалізується в точці подачі. Каталітична здатність фільтруючого середовища прискорює процес трансформації H₂O₂ в H₂O+O з утворенням проміжного гідроксил-радикалу (ОН) – найпотужнішого окислювача в природі після фтору, що має невибіркову окислювальну дію. За допомогою перекису водню видаляється 85-96% двовалентного заліза.

Деякі люди порівнюють розчин перекису водню з іншим популярним рідким окислювачем — розчином гіпохлориту натрію, який широко використовується в побутовій та промисловій водопідготовці. Ціна 7%-го розчину перекису водню значно більша ніж ціна розчину гіпохлориту натрію

з урахуванням практично аналогічної витрати. Однак, на відміну від хлору перекис водню не створює побічні продукти заміщення, розщеплюється на воду та кисень, діє швидше і потужніше [21].

Зворотній осмос. Одним із методів вирішення проблеми якості питного водопостачання може стати використання зворотного осмосу у системі оброблення води. Під час зворотного осмосу вода проходить через напівпроникні мембрани, які утримують розчинне залізо. Ця технологія працює оптимально, коли у воді немає твердих форм для запобігання засміченню. Оскільки окиснення води, багатой залізом, призводить до осадження $\text{Fe}(\text{OH})_3$, який може закупорити мембрани, зворотний осмос дуже важко реалізувати. Видалення іонів заліза за допомогою іонного обміну полягає в обміні цих іонів на менш шкідливі. Потім демінералізована вода змішується з сирою водою для отримання потрібної концентрації заліза. Іонний обмін дуже чутливий до кисню: у кисневому середовищі, утворені осади можуть наситити шар полімеру та заблокувати процес [5].

Перевагами зворотного осмосу є видалення усіх солей (у тому числі солей твердості) і розчинених органічних речовин (до 99 %). Цей спосіб не потребує значної кількості хімічних реагентів і не спричиняє утворення великої кількості кислотних і лужних стоків. Крім цього, використання зворотного осмосу вимагає мінімальної участі обслуговуючого персоналу [22].

Висновки до розділу 1: У роботі розглянуто загальний вміст заліза підземних вод та його вплив на людський організм. Серед основних методів видалення заліза з води виділяють реагентні та безреагентні, які ґрунтуються на процесі окиснення двовалентного заліза до тривалентного. До основних засобів знезалізнення відносяться: фільтрація, окиснення та пом'якшення.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Фільтрувальний матеріал Pygloх для видалення з води заліза

Pygloх – це гранульоване середовище для фільтрування води, видалення сірководню, заліза та марганцю. Засипка має сорбційно-каталітичні властивості. Регенерацію Pygloх проводять за допомогою зворотної промивки потоком очищеної і/або вихідної води.

Таблиця 2.1

Умови експлуатації фільтрувального завантаження Pygloх

Умови експлуатації	
рН оброблюваної води	6,9–9,5
Мінімальна висота шару, мм	450
Лінійна швидкість фільтрування, м/год	12
Лінійна швидкість у разі спущення, м/год	60–70
Розширення шару у разі спущення, мінімум	40% від висоти шару фільтрувального матеріалу
Рекомендований підтримуючий шар	Garnet 8x30

Таблиця 2.2

Характеристика фільтрувального завантаження Pygloх

Характеристики матеріалу	
Колір	Чорний
Насипна щільність, кг/дм ³	1,92
Істинна щільність, кг/дм ³	3,8
Ефективний розмір зерен, мм	0,48
Коефіцієнт однорідності	2,7
Розмір частинок, мм	0,85x2,36

2.2 Методика визначення загального заліза у воді колориметричним методом з калій роданідом

Основний метод експериментального дослідження – колориметрування з застосуванням роданіду. Метод заснований на взаємодії в сильноокислому середовищі іонів тривалентного заліза з іонами роданіду. Інтенсивність забарвлення пропорційна концентрації заліза. Чутливість методу складає до $0,05 \text{ мг/дм}^3$ феруму. Для колориметрування необхідні чітко визначені співвідношення в розчині між концентрацією різних комплексних іонів. Це досягається додаванням реактиву в кількості, що дає можливість створювати постійний надлишок іонів роданіду. Визначення загального заліза проводять попереднім окисненням двовалентного заліза персульфатом амонію до тривалентного. Під час проведення дослідження використовується фотоелектричний колориметр (ФЕК-3) з синім світлофільтром та довжиною хвилі $\lambda = 490\text{--}508\text{нм}$, товщина кювети 5 см.

2.3 Хід проведення визначення загального заліза у воді колориметричним методом з калій роданідом

При загальному вмісті заліза у воді до 3 мг/дм^3 визначення заліза виконується без розведення проби дистильованою водою.

1. В мірну колбу ємністю 50 см^3 налити 1 см^3 розчину соляної кислоти у співвідношенні 1:1 та кілька кристалів персульфату амонію, довести усе до мітки водою.
2. Перемішувати отриману суміш протягом трьох хвилин, потім ввести 1 см^3 50%-го розчину роданіду амонію або калію.
3. Знову перемішати суміш і через 3 хвилини провести колориметрування.
4. Визначити оптичну густину на ФЕК при довжині хвилі $\lambda = 490 \text{ нм}$ у кюветах з товщиною оптичного шару 5 см по відношенню до дистильованої води, у яку додають ті ж самі реактиви.

5. Побудувати калібрувальну криву.
6. Знайти концентрацію загального заліза за калібрувальним графіком.

Побудова калібрувальної кривої:

У ряд мірних колб об'ємом 55 см³ наливають різні кількості стандартного розчину 0,005 мг/см³ Fe із ампули ДСЗУ (або 5 мг/дм³ Fe) – 0 см³, 1 см³, 2 см³, 5 см³, 10 см³, 15 см³, 20 см³, 25 см³ стандартного розчину, який після доведення об'ємів рідини у колбах дистильованою водою до 50 см³ відповідає концентраціям заліза: 0; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 мг/дм³. Дану серію повторюють двічі для побудови найбільш точної кривої, з якої знаходиться формула для розрахунку концентрації заліза.

За отриманими даними будують криву залежності $C(Fe)$ від оптичної густини розчину, виміряного на приладі фотоелектроколориметр (ФЕК) при довжині хвилі $\lambda=490$ нм та у кюветах товщиною 5 см. Обробку отриманих даних проводять у середовищі Microsoft Excel.

2.4. Визначення показника загальної лужності

У конічну колбу об'ємом 250 – 300 см³ відміряють піпеткою 100 см³ досліджуваної води, додають 2 – 3 краплини метилового помаранчевого і титрують 0,1 н розчином HCl до переходу забарвлення розчину від жовтого до жовтогарячого (об'єм V_{HCl}).

Опрацювання результатів. Загальну лужність ($L_{\text{заг}}$) розраховують за формулою :

$$L_{\text{заг}} = \frac{C \times V_{HCl} \times 1000}{V_{H_2O}}, \text{ ммоль/дм}^3$$

2.5. Визначення показника загальної жорсткості води

У конічну колбу об'ємом 150-200 см³ піпеткою вносять 10-100 см³ досліджуваної води залежно від очікуваної жорсткості (за потреби об'єм води доводять дистильованою водою до 100 см³), додають 5 см³ амоніачного буферного розчину, 10-15 мг сухої суміші індикатора хромогена чорного Т. Суміш перемішують і титрують 0,05н або 0,10н розчином трилону Б до зміни забарвлення індикатора з червоно-фіолетового до блакитного або синьо-зеленого.

Загальну жорсткість води $C_{\text{заг}}$ розраховують за формулою (ммоль/дм³):

$$C_{\text{заг}} = \frac{K \cdot C \cdot V_1 \cdot 1000}{V},$$

де C – концентрація розчину трилону Б, ммоль/дм³; K – титр розчину трилону Б; V_1 – об'єм трилону Б, витрачений на титрування, см³; V – об'єм проби води, взятої для аналізу, см³; 20,04 – молярна маса еквівалента іонів кальцію.

2.6 Методика визначення впливу іонів твердості (на прикладі Ca²⁺) на видалення йонів заліза фільтрувальним матеріалом Pyrolox в статичних умовах за кислих значень рН

Модельний розчин заліза готували з ферум(III) сульфату гептагідрату Fe₂(SO₄)₃·7H₂O класифікації "ч.д.а". Наважку Fe₂(SO₄)₃·7H₂O масою 36,033 г розчиняли у 6 дм³ води з бювету міського артезіанського водопроводу (змішана вода Сенманського і Юрського горизонтів), у якій концентрація заліза і солей твердості складала менше чутливості методик їх виявлення. Для поліпшення органолептичних властивостей води на деяких бюветах встановлені спеціальні фільтри, за роботою яких здійснюється постійний нагляд. Ефективність фільтрів можна продемонструвати наведеними нижче даними з таблиці 2.3.

Показники якості води з бювету парку Шевченка до фільтрів і після фільтрів

Адреса бювету	До фільтра				Після фільтра			
	мутність	залізо	марганець	сульфіди	мутність	залізо	марганець	сульфіди
Парк Шевченка	4,1	1,7	0,04	0,03	<0,2	<0,02	0,006	0,005

У воді до фільтрів значення показників «мутність», «залізо», «сульфіди» перевищували ГДК. Після очищення води за допомогою фільтрів їх концентрація знизилася майже в 10 разів, внаслідок чого якість води покращилася.

Для створення твердості у модельному розчині заліза додатково вводили розчин кальцій хлориду CaCl_2 в різних кількостях: 0, 6, 10, 12, 16, 18, 20 cm^3 (на 500 cm^3 модельного розчину). Наважку солі CaCl_2 масою 4,474 г розчиняли в дистильованій воді. Концентрація приготовленого вихідного розчину складала 245 ммоль/ dm^3 .

При визначенні показника жорсткості загальної (Жзаг) через високий вміст іонів заліза додавали 5 крапель 1% розчину гідроксиламін солянокислого $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ за методикою для усунення заважаючих іонів. Зміна кольору відбувалась від винно-філетового до пляшково-зеленого в точці закінчення титрування. В роботі також було апробовано застосування натрій сульфід Na_2S (5% розчину) для усунення заважаючого впливу іонів заліза при визначенні загальної твердості води, проте титрований розчин (холостий дослід) набував інтенсивного стійкого сіро-антрацитового забарвлення, яке не зникало при додаванні решти реактивів за методикою. Тому подальший аналіз з Na_2S не проводили.

Вміст загального заліза, показник рН, мінералізацію і твердість загальну вимірювали в день постановки дослідження одразу після додавання всіх

реагентів; також дані показники якості води контролювати у досліджуваних зразках через 24, 48 і 110,3 год.

Після внесення у воду з бювету наважки $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, відповідної кількості солі CaCl_2 в кількості, яка відповідає номеру колби, мінералізація води, яка вимірювалася портативним приладом солемір TDS Meter 3 M, різко зростала. Так, вихідна вода з бювету до внесення реагентів мала мінералізацію, яка змінювалася у вузькому діапазоні від 344 до 350 мг/дм^3 , що відомо з літературних джерел та наданого протоколу лабораторних досліджень. Після додавання перерахованих вище реагентів мінералізація води складала від 1200 до 1500 мг/дм^3 для досліджуваних зразків 0-6, відповідно, в день постановки експерименту.

Впродовж проведення дослідження всі колби тримали щільно закритими.

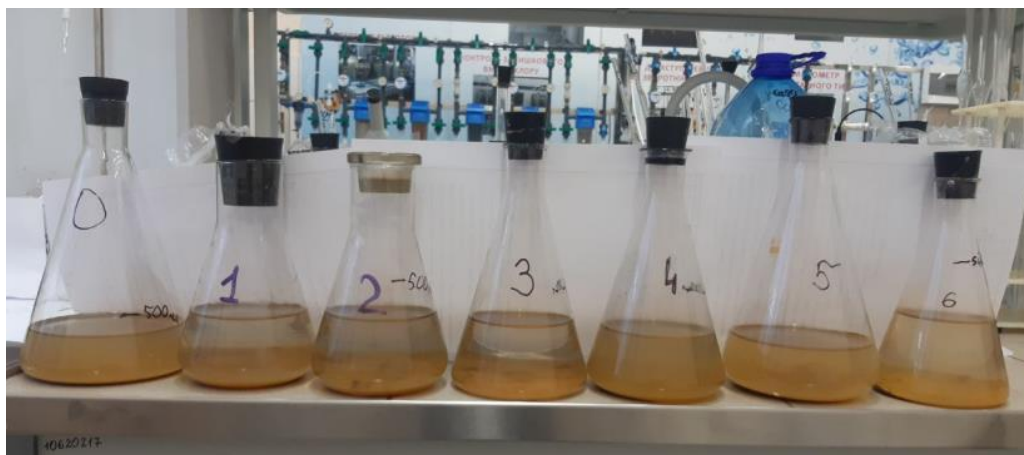


Рисунок 2.1 Серія досліджень щодо знезалізнення води з підземного джерела з використанням Руголох в статичних умовах при кислому значенні рН: 0 – холостий зразок, без додавання Руголох; зразки від 1 до 6 – зі збільшенням вмісту солі твердості. Маса Руголох в зразках 1-6 дорівнювала $1,047 \pm 0,005$ г. Вихідний вміст заліза загального становив $10,0 \text{ мг/дм}^3$

2.7. Методика визначення впливу іонів твердості (на прикладі Ca^{2+}) на видалення йонів заліза фільтрувальним матеріалом Pyrolox в статичних умовах за лужних значень рН

Модельний розчин заліза готували з ферум(III) сульфату гептагідрату $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ класифікації "ч.д.а", як описано в підрозділі 2.6.

Коригування водневого показника рН в серії досліджень проводили з використанням буферу – содово-лужної суміші (далі СЛС). Робочий розчин СЛС готували розчиненням наважок натрій гідрокарбонату NaHCO_3 масою 84 г класифікації "ч.д.а" і безводного натрій карбонату Na_2CO_3 масою 212 г. Сумарну концентрацію лужних компонентів підтримували на рівні 3М. рН модельного розчину заліза після додавання наважок NaHCO_3 і Na_2CO_3 становив 7,733.

Маса наважок фільтрувального завантаження Pyrolox в усій серії досліджень в статичних умовах складала від 1,004 до 1,064 г.

Регулювання рН у модельних розчинах заліза в область лужних значень досягалось додаванням розчину СЛС у кількостях 0, 6, 10, 12, 16, 18 і 20 cm^3 , що забезпечувало варіювання водневого показника в інтервалі 7,77 – 7,93 (у зразках в день постановки експерименту).

Солі кальцій хлориду CaCl_2 вводили у вихідний модельний розчин, аналогічно до методики, описаної в п. 2.6.

Вміст загального заліза, рН, мінералізацію і загальну твердість вимірювали в день постановки дослідження одразу після додавання всіх реагентів; також дані показники якості води контролювати у досліджуваних зразках через 24, 96 і 170 год. Перед визначенням показників рН, мінералізації, загальної твердості води, загального заліза у всіх досліджуваних зразках відбирали розчин над рівнем осаду в об'ємі 30-43 cm^3 , фільтрували через щільні паперові фільтри «синя» стрічка.

Висновки до розділу 2. Опановано методики визначення вмісту заліза у воді на основі показників твердості, лужності, водневого показника і мінералізації води. Був проведений фізико-хімічний аналіз води з бювету парку Т.Г. Шевченка на основі якого можна зробити узагальнити, вода відповідає показникам своєї якості відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10. Експериментальним шляхом продемонстровано, що використання наважки Pyrolox дозволяє знизити концентрацію заліза в воді.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Дослідження впливу іонів твердості на процес знезалізнення води з використанням фільтрувальних завантажень

Були проведені проби щодо застосування $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ з використанням засипки Руголох з метою зниження загального вмісту заліза у воді.

Проба проводилася на воді з бювету парку Т.Г. Шевченка за наступною процедурою:

У пляшку об'ємом 6дм^3 додавати 3дм^3 води з бювету парку Т.Г. Шевченка та 3л розчину $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ з вихідного розчину, концентрацією $C(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 10,03 \text{ мг/дм}^3$

$$m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 36 \text{ г на } 6 \text{ л води}$$

$$C(\text{Fe}) = \frac{E - 0,0378}{0,9454} * \frac{V_{50}}{V_{\text{заг}}}$$

До кожної з колб з засипкою Руголох, окрім холостого номеру дослідження, додавати різні аліквоти солей CaCl_2 з загальною жорсткістю $J_{\text{заг}} = 245 \text{ ммоль/дм}^3$.

$$m(\text{CaCl}_2) = 4,474 \text{ г на } 250 \text{ мл дистильованої води.}$$

$$C_{\text{тр.Б}} = 0,1 \text{ н.}$$

$$V_{\text{заг}}(\text{CaCl}_2) = 10 \text{ мл}$$

$$J_{\text{заг}} = \frac{0,1 * 24,5 * 1000}{10} = 245 \text{ ммоль/дм}^3$$

$$245 \text{ ммоль/дм}^3 \cdot x \text{ дм}^3 = 3 \text{ ммоль/дм}^3 \cdot 0,5 \text{ дм}^3$$

$$245x = 1,5$$

$$X = 0,0061 \text{ дм}^3 \text{ або } 6,12 \text{ см}^3$$

Солі хлориду кальцію застосовуються і як додатковий окислювач, необхідний для формування триокисного заліза, яке абсорбується під дією засипки, а також як полісорбент, який допомагає знезаражувати воду, поглинаючи певні органічні речовини та мікроорганізми (бактерії, віруси).

У таблиці 3.1 представлені результати проб, виконаних у січні 2024 р.

Таблиця 3.1

Визначення показника концентрації заліза у воді при знезалізненні

№	Маса Руголох, г	pH р-ну	V _{заг} CaCl ₂ , см ³ (додан)	V _{заг} CaCl ₂ , см ³ (заплан)	Ж _{заг} , ммоль/д м ³	Мінералізація	E, λ= 490 нм l = 5 см	C _{Fe} , мг/л
1	1,028	2,660	6	3	-	128·10	0,954	4,85
2	1,052	2,775	10	5	0,6 мл	133·10	0,945	4,80
3	1,005	2,623	12	6	0,6 мл	136·10	0,940	4,77
4	1,014	2,750	16	8	0,6 мл	145·10	0,928	4,71
5	1,011	2,799	18	9	0,9 мл	147·10	0,927	4,70
6	1,005	2,816	20	10	10 мл	150·10	0,924	4,69
0	0	2,74	0	0	0 мл	120·10	0,970	4,93

Отримані дані доводять, що рівень концентрації заліза в воді залежить від значення її оптичної густини (E). У якості пробного розчину застосовувалася колба з реактивом, розчиненого у дистильованій воді. Наважка Руголох є ефективним засобом зниження вмісту заліза в воді, однак потребує додавання додаткових реагентів, які обумовлюють процеси знезалізнення. Залежність показника концентрації заліза у воді від маси наважки Руголох є нелінійною, потребує більш ретельного вивчення.

3.2. Побудова градуовального графіку для визначення загального вмісту заліза за методикою з амоній роданідом

Визначення показника загального вмісту заліза і побудова градуовального графіка проведена відповідно до методики, наведеної в підрозділі 2.2, і представлено нижче.

Градуовальний графік для визначення заліза побудовано 19.12.2023 з ампули ДСЗУ 1,0 мг/см³ на приладі КФК-3, з довжиною хвилі 490 нм, товщина

кювету 5 см. Розчин порівняння - дистильована вода +HCl+(NH₄)₂S₂O₈+KCNS. Концентрація заліза у модельному розчині C_{Fe} = 0,005 мг/дм³. Графік залежності оптичної густини та концентрації заліза в воді представлено на рис. 3.1.

Таблиця 3.2

Градуювальний графік для визначення загального заліза

№ з/п	V _{р-ну} , см ³	C _{р-ну} , мг/дм ³	C _{р-ну} , мг/100см ³	E1
0	0	0	0	0,063
1	1	0,05	0,005	0,119
2	2	0,1	0,01	0,179
3	5	0,25	0,025	0,32
4	10	0,5	0,05	0,52
5	15	0,75	0,075	0,645
6	20	1	0,1	0,764
7	25	1,25	0,125	0,819
8	50	2,5	0,25	0,892
9	0			
ПВ	50			0,01

Примітка: ПВ - природна вода з бювету парку Шевченка

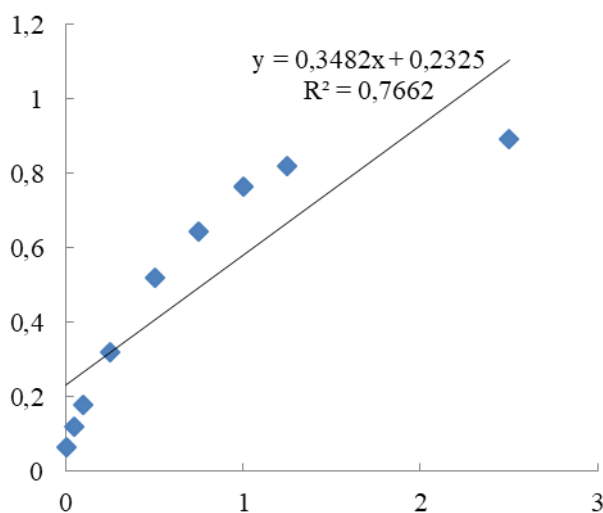


Рисунок 3.1 - Градувальний графік для визначення загального заліза

Примітка: Побудовано з ампули ДСЗУ 1,0 мг/см³; виконано на приладі КФК-3, з довжиною хвилі 490 нм, товщина кювету 5 см.

На основі побудованої кривої залежності концентрації модельного розчину заліза від оптичної густини розчину виведено рівняння:

$C_{Fe} = (E - 0,0378/0,9454) \cdot (V_{50}/V_{ал})$, в даному рівнянні чисельник взяли по модулю.

$$y = 0,9454x + 0,0378$$

$$0,9454x = 0,0378 - y$$

$$x = ((0,0378 - y)/0,9454) \cdot 50/V_{ал}$$

x - це концентрація заліза, знайдена за калібрувальним графіком;

y - чисельне значення оптичної густини, яке отримують на електронному табло приладу КФК-3.

3.3. Визначення фізико-хімічних показників якості води з бювету парку Шевченка

Замовник СВКП «КИЇВВОДФОНД» надає наступну інформацію щодо якості води питної (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Характеристика води бювету Шевченківського району м. Київ

Бювети артезіанської води	
Адреса бювету	Рік на введення в експлуатацію, характеристика бювету
Шевченківський район	
Шевченка Т. парк	1998, С-Ю (МАБ)

Примітка. *Характеристика бювету: горизонт – Сеноманський (С), Юрський (Ю), Сеноманський і Юрський разом, змішана вода (С-Ю). Бювети побудовані на свердловинах: міського артезіанського водопроводу (МАБ), нових (нова) та відомчих (відом.)

Бювети, що експлуатуються в Києві, за особливостями хімічного складу води можна розділити на такі чотири групи:

- бювети, в які вона надходить з Сеноманського горизонту; така вода має мінералізацію $<450 \text{ мг/дм}^3$, а вміст основних компонентів становить (мг/дм^3): $<70 \text{ Ca}$, $<8-22 \text{ Mg}$, $<25 \text{ Na}$, $<12 \text{ K}$, $300-400 \text{ HCO}_3$, $<20 \text{ Cl}$, $<20 \text{ SO}_4^{2-}$, $<0,35 \text{ F}$, $8-14 \text{ Si}$, $2,7-5,5 \text{ Сорг.}$;

- бювети, в які вона надходить з Юрського горизонту; вода має мінералізацію 400-550 мг/дм³, концентрація основних компонентів в ній становить (мг/дм³): 40-50 Ca, 20-30 Mg, 38-45 Na, 12-15 K, <0,8 Sr, <550 HCO₃, 23-25 Cl, 20-35 SO₄²⁻, 0,6-0,8 F, 3,4-4,5 Si, 2,3-2,9 Сорг.; вода містить такі біологічно активні компоненти, (мг/дм³): 0,1-0,4 Ba, 0,1-0,4 B, 0,04-0,08 I, 0,05-0,15 Br;

- бювети, в які вона надходить з Юрського горизонту на масиві Вигурівщина-Троєщина; вода має мінералізацію 700-800 мг/дм³, концентрація основних компонентів становить (мг/дм³): 30-80 Ca, 13-25 Mg, 180-270 Na, 30-40 K, 0,9-1,2 Sr, 300-350 HCO₃, 170-250 Cl, 35-53 SO₄²⁻, 0,8-1,0 F, 3,2-3,6 Si, 1,6-2,0 Сорг.; особливістю хімічного складу води є присутність в ній біологічно активних речовин в підвищених концентраціях, (мг/дм³): 0,1-0,25 Ba, 0,4-0,5 B, 0,10-0,12 I, 0,4-0,6 Br;

- бювети, в які вода надходить з двох горизонтів і змішується перед подачею споживачу; ця вода має проміжний хімічний склад, який може змінюватися в залежності від співвідношення сеноманської та юрської води.

Обране нами джерело відноситься до четвертого, змішаного типу.

Пробу води відібрано виконавцем Акт. відбору № 03-К. Місце відбору зразка: м. Київ, парк імені Тараса Шевченка (Шевченківський р-н) бювет.

Дата відбору зразка: 08.12.2023.

Мета: перевірити воду на відповідність нормам ДСанПін 2.2.4-171-10 (див. табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Фізико-хімічні показники якості води з бювету парку Шевченка

№	Показник	Результат	Нормативне значення	Відмітка про відповідність	Метод
1	2	3	4	5	6
1.	Каламутність, мг/дм ³	0	≤0.58	Відповідає	ДСТУ ISO 7027: 2003
2.	Забарвленість, градуси	0	≤20	Відповідає	ГОСТ 3351-74

3.	Запах, бали при 20°C	0	≤ 2	Відповідає	ГОСТ 3351-74
4.	Запах, бали при 60°C	0	≤ 2	Відповідає	ГОСТ 3351-74
5.	Смак та присмак	0	≤ 2	Відповідає	ГОСТ 3351-74
6.	pH, водневий показник	7.75	6.5-8.5	Відповідає	ДСТУ 4077-2001
7.	Загальна жорсткість, ммоль/дм ³	0.025	≤ 7.0	Відповідає	ДСТУ ISO 6059:2003
8.	Марганець, мг/дм ³	0.01	≤ 0.05	Відповідає	ДСТУ ГОСТ 4974:2019
9.	Залізо загальне, мг/дм ³	0.08	≤ 0.2	Відповідає	МВИ 081/37-0734-11
10.	Амоній, мг/дм ³	0.02	≤ 1.2	Відповідає	МВИ 081/37-0698-10
11.	Сухий залишок	350	≤ 1000	Відповідає	ГОСТ 18164-72
12.	Перманганатна окиснюваність	1.06	≤ 5	Відповідає	ГОСТ 23268 12-76

Узагальнені показники якості води наведені у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

**Фізико-хімічні показники якості води з бювету
(аналіз зроблено 21.12.2023)**

№	Показник	Значення
1	pH	7,36
2	Лужність загальна, ммоль/дм ³	5,9
3	Залізо загальне, мг/дм ³	0
4	Жорсткість загальна, ммоль/дм ³	0

Отже, за всіма показниками вода з бювету парку Шевченка відповідає стандартам, може використовуватися для споживчих потреб мешканців міста та туристів.

3.4. Оптимізація досліджуваного технологічного процесу.

Оптимізація - це процедура відбору найкращих елементів з множини доступних альтернатив в технологічній схемі. Послідовність вирішення задачі оптимізації можна уявити у вигляді блоксхеми, де спочатку утворюється математична модель об'єкту оптимізації (процесу, апарату чи системи), потім проводиться постановка задачі оптимізації, після якої робиться вибір оптимізаційного методу, створюється алгоритм і програма рішення. Якщо оптимальне рішення не може бути отримане, то робиться коригування одного із попередніх етапів [23]. В таблиці 4.1 представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі якості питної води.

Таблиця 3.6.

Показники якості води після внесення наважки Pyrolox

№	Маса Pyrolox, г	pH	Жзаг, ммоль/дм ³	Е	С(Fe), мг/дм ³
0	0	8,176	0	0,007	0,00
1	1,059	8,457	3	0,045	0,04
2	1,004	8,475	3,5	0,123	0,45
3	1,016	8,144	5	0,12	0,43
4	1,025	7,713	4	0,076	0,20
5	1,037	7,916	3,5	0,047	0,00
6	1,064	7,688	3,5	0,042	0,02

Постановка задачі оптимізації містить в собі умови, які характеризують прийнятні значення змінних, які називаються обмеженнями задачі. Обмеження містять у собі рівняння зв'язку між залежними та незалежними змінними у вигляді рівнянь а також функціональні та параметричні обмеження у вигляді нерівностей. Метою наведених теоретичних розрахунків постановки задачі оптимізації було встановлення оптимального потоку вихідної води в процесі її очищення від заліза.

Знаходження оптимального значення витрат реагенту Pyrolox для знезалізнення води

Розроблення математичної моделі

1. Визначення рівняння регресії залежності p_h від витрат реагенту

$$\begin{aligned}
 P1 &:= (1.004 \ 1.016 \ 1.025 \ 1.037 \ 1.059 \ 1.064)^T & N1 &:= 5 \\
 \hat{I} &:= (8.475 \ 8.144 \ 7.713 \ 7.916 \ 8.457 \ 7.688)^T & il &:= 0..N1 \\
 A1 &:= \begin{pmatrix} 6 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix} & C1 &:= \begin{bmatrix} \sum \hat{I} \\ \sum_{il} (\hat{I}_{il} \cdot P1_{il}) \\ \sum_{il} [\hat{I}_{il} \cdot (P1_{il})^2] \\ \sum_{il} [\hat{I}_{il} \cdot (P1_{il})^3] \end{bmatrix} \\
 a &:= A1^{-1} \cdot C1 & a &= \begin{pmatrix} 41933.222778 \\ -121415.430908 \\ 117183.732178 \\ -37692.525513 \end{pmatrix} & F1(p) &:= a_0 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta l &:= \sqrt{\frac{\sum_{il=0}^{N1} (\hat{I}_{il} - F1(P1_{il}))^2}{N1}} & K &= 1K & F1(P1) &= \begin{pmatrix} 8.5596 \\ 7.8866 \\ 7.8374 \\ 8.0655 \\ 8.1438 \\ 7.9017 \end{pmatrix} \\
 \delta l &= 0.22584
 \end{aligned}$$

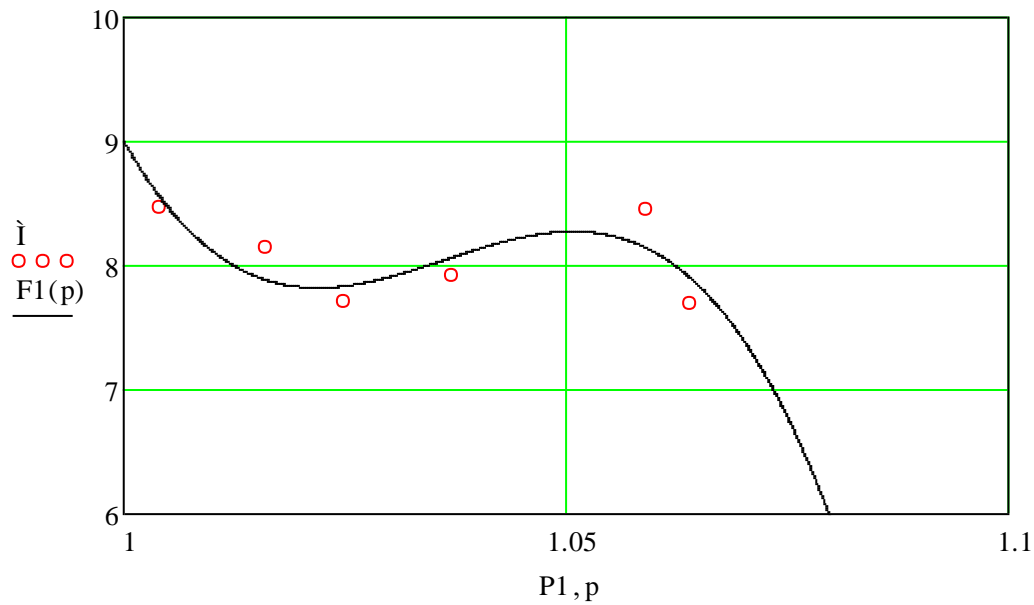


Рисунок 3.2 - Залежність pH від витрат реагенту

2. Встановлення коефіцієнтів рівняння регресії залежності загальної жорсткості від витрат реагенту

$$\begin{aligned}
 P2 &:= (1.004 \ 1.016 \ 1.025 \ 1.037 \ 1.059 \ 1.064)^T & N2 &:= 5 \\
 \zeta &:= (3.5 \ 5 \ 4 \ 3.5 \ 3 \ 3.5)^T & i2 &:= 0..N2 \\
 A2 &:= \begin{pmatrix} 6 & \sum P2 & \sum P2^2 & \sum P2^3 \\ \sum P2 & \sum P2^2 & \sum P2^3 & \sum P2^4 \\ \sum P2^2 & \sum P2^3 & \sum P2^4 & \sum P2^5 \\ \sum P2^3 & \sum P2^4 & \sum P2^5 & \sum P2^6 \end{pmatrix} & C2 &:= \begin{bmatrix} \sum \zeta \\ \sum_{i2} (\zeta_{i2} \cdot P2_{i2}) \\ \sum_{i2} [\zeta_{i2} \cdot (P2_{i2})^2] \\ \sum_{i2} [\zeta_{i2} \cdot (P2_{i2})^3] \end{bmatrix} \\
 a2 &:= A2^{-1} \cdot C2 & F2(p) &:= a2_0 + a2_1 \cdot p + a2_2 \cdot p^2 + a2_3 \cdot p^3 \\
 s2 &:= \sqrt{\frac{\sum_{i2=0}^{N2} (\zeta_{i2} - F2(P2_{i2}))^2}{N2}} & s2 &= 0.242039 & a2 &= \begin{pmatrix} -108181.280548 \\ 313955.870361 \\ -303617.548828 \\ 97845.665955 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

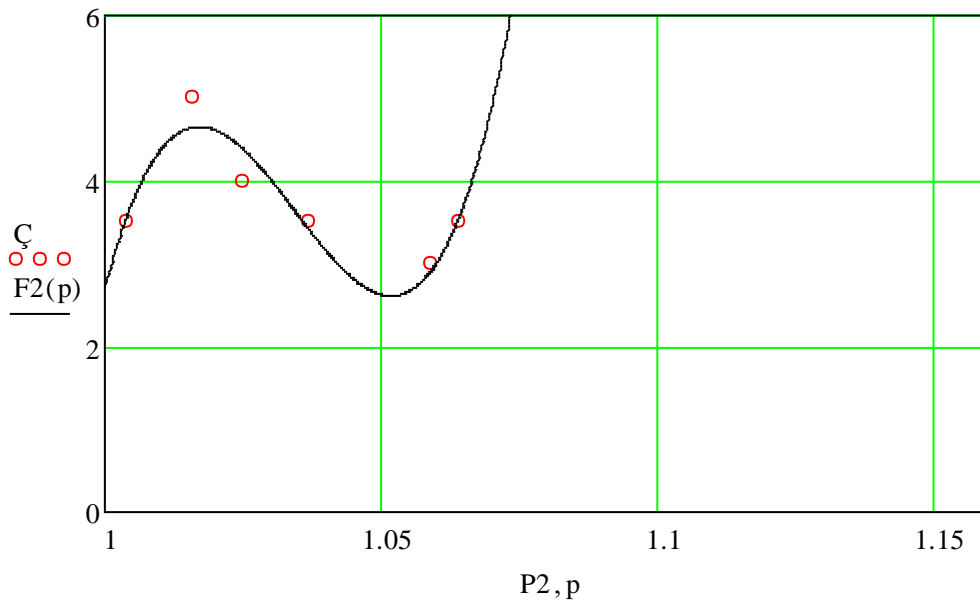


Рисунок 3.3 - Залежність загальної жорсткості від витрат реагенту

3. Визначення рівняння регресії залежності вмісту загального заліза від витрат реагенту

$$N3 := 5$$

$$P3 := (1.004 \ 1.016 \ 1.025 \ 1.037 \ 1.059 \ 1.064)^T$$

$$\hat{E} := (0.45 \ 0.43 \ 0.2 \ 0.05 \ 0.04 \ 0.02)^T$$

$$A3 := \begin{pmatrix} 6 & \sum P3 & \sum P3^2 & \sum P3^3 \\ \sum P3 & \sum P3^2 & \sum P3^3 & \sum P3^4 \\ \sum P3^2 & \sum P3^3 & \sum P3^4 & \sum P3^5 \\ \sum P3^3 & \sum P3^4 & \sum P3^5 & \sum P3^6 \end{pmatrix}$$

$$C3 := \begin{bmatrix} \sum \hat{E} \\ \sum_{i3} (\hat{E}_{i3} \cdot P3_{i3}) \\ \sum_{i3} [\hat{E}_{i3} \cdot (P3_{i3})^2] \\ \sum_{i3} [\hat{E}_{i3} \cdot (P3_{i3})^3] \end{bmatrix}$$

$$i3 := 0..N3$$

$$a3 := A3^{-1} \cdot C3$$

$$F3(p) := a3_0 + a3_1 \cdot p + a3_2 \cdot p^2 + a3_3 \cdot p^3$$

$$s3 := \sqrt{\frac{\sum_{i3=0}^{N3} (\hat{E}_{i3} - F3(P3_{i3}))^2}{N3}}$$

$$s3 = 0.044767$$

$$a3 = \begin{pmatrix} -8697.591064 \\ 25441.396652 \\ -24790.70459 \\ 8047.368341 \end{pmatrix}$$

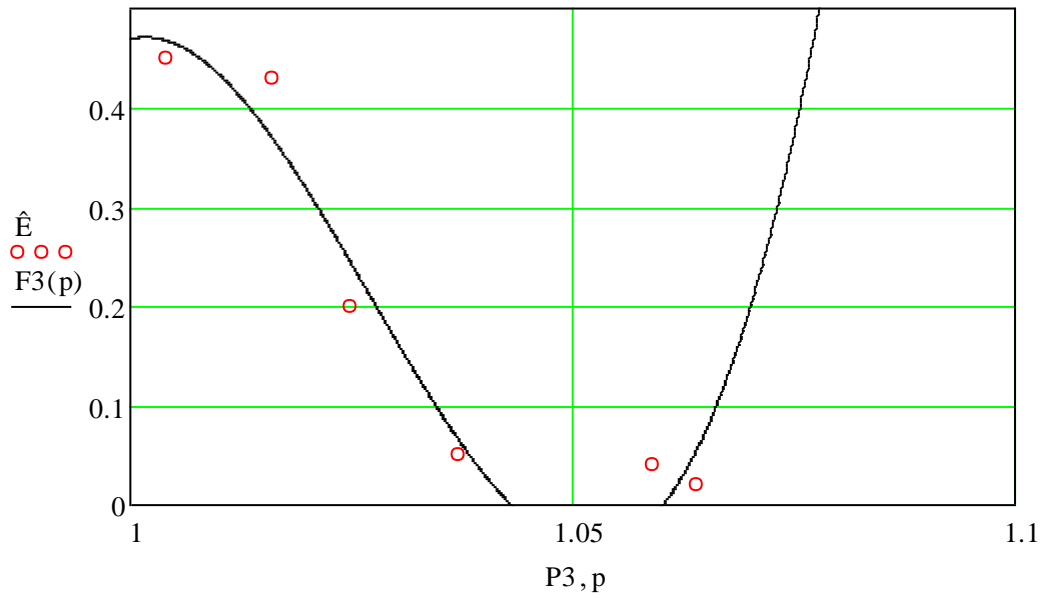


Рисунок 3.4 - Залежність вмісту заліза від витрат реагенту

4. Визначення оптимального значення витрат реагенту Pyrolox

Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона

```

HAR(FN, D, fn, z) := FP ← -ln(-ln(D))
if z = 1
  if fn < FN0
    fb ← D0
    break
  if fn > FN5
    fb ← D5
    break
  for i ∈ 0, 1..5
    if fn = FNi
      fb ← Di
      break
    if fn < FNi+1
      fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
      fb ← e-e-fp
      break
  otherwise
    if fn > FN0
      fb ← D0
      break
    if fn < FN5
      fb ← D5
      break
    for i ∈ 0, 1..5
      if fn = FNi
        fb ← Di
        break
      if fn > FNi+1
        fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
        fb ← e-e-fp
        break
fb

```

Інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності

$$\begin{aligned} \text{IBM} &:= (9 \ 8.7 \ 8.5 \ 8.4 \ 8.2 \ 7.5)^T & \text{IBK} &:= (0.6 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.05 \ 0.03 \ 0.02)^T \\ \text{IBZ} &:= (125 \ 116 \ 100 \ 91 \ 84 \ 72)^T & \text{D} &:= (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T \end{aligned}$$

$$a1 := 1.0 \qquad b1 := 1.07$$

$$m := 40 \quad j := 0..m$$

$$h := \frac{b1 - a1}{m} \quad P_j := a1 + h \cdot j \quad \underline{Y1_j} := F1(P_j) \quad Y2_j := F2(P_j) \quad Y3_j := F3(P_j)$$

$$\begin{aligned} ff1_j &:= \text{HAR}(\text{IBM}, D, Y1_j, 0) & ff2_j &:= \text{HAR}(\text{IBZ}, D, Y2_j, 0) & ff3_j &:= \text{HAR}(\text{IBK}, D, Y3_j, 0) \\ Ff_j &:= (ff1_j)^{0.2} \cdot (ff2_j)^{0.3} \cdot (ff3_j)^{0.5} \end{aligned}$$

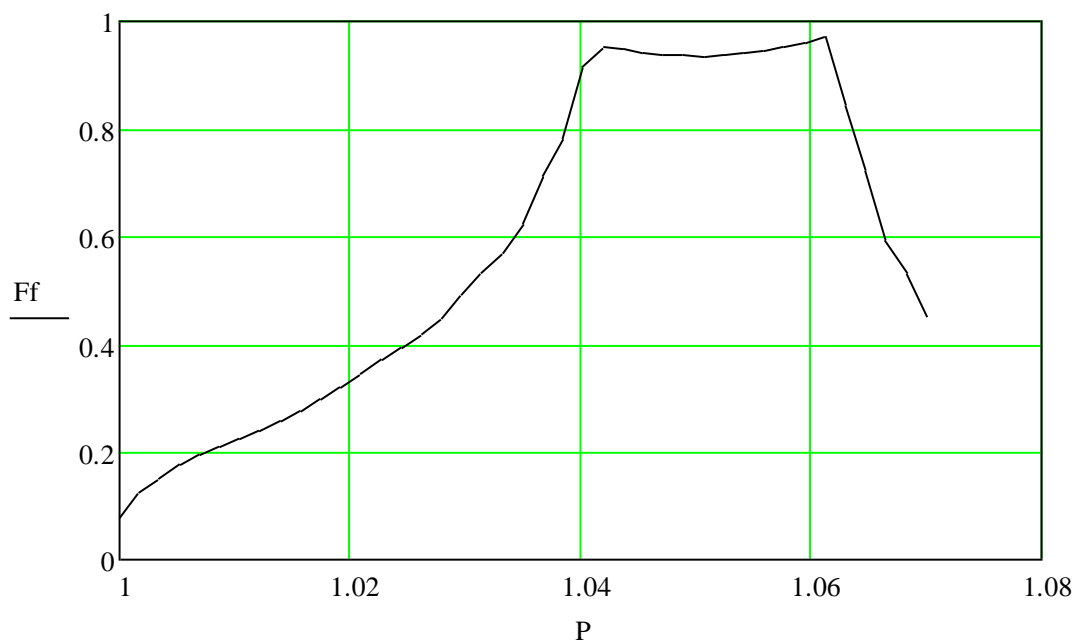


Рисунок 3.5 - Залежність узагальненого критерію оптимальності від витрат реагенту Pyrolox

$\text{OPT1}(F, n, a1, h1) :=$

$MA \leftarrow F_0$ $im \leftarrow 0$ for $il \in 0..n - 1$ if $F_{il} > MA$ <table style="border-collapse: collapse; margin-left: 20px;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px; vertical-align: top;"> $MA \leftarrow F_{il}$ $im \leftarrow il$ </td> <td style="padding-left: 5px;"></td> </tr> </table> $x1m \leftarrow a1 + h1 \cdot (im)$ $z_0 \leftarrow MA$ $z_1 \leftarrow x1m$ z	$MA \leftarrow F_{il}$ $im \leftarrow il$		<i>Програма знаходження максимального значення критерія оптимальності з одновимірного масиву</i>
$MA \leftarrow F_{il}$ $im \leftarrow il$			

$$\text{OPT1}(Ff, nm, a1, h) = \begin{pmatrix} 0.96923 \\ 1.06125 \end{pmatrix}$$

ВИСНОВОК:

Оптимальним значенням витрат реагенту Руголох для знезалізнення води, який забезпечує максимальне знезалізнення $P = 1,061 \%$, при максимальному значенні критерію оптимальності $F(x)=0.969$.

3.5. Технологічна схема очищення водопровідної води у разі погіршення показників її якості в системі

Для потреб закладів індустрії гостинності (ресторанів, барів, готелів та ін.) використовується водогінна вода, яка проходить традиційні етапи очищення, однак її якість може бути перманентно низькою, або суттєво погіршуватися у певні моменти. Низька якість води може позначитися і на якості страв, які готуються на кухні, і на придатності її застосування для кавових машин та льодогенераторів. Отже, її необхідно очищувати. Схема очищення води, яка потрапляє у систему забезпечення води в готельному комплексі, представлена на рис. 5.1.

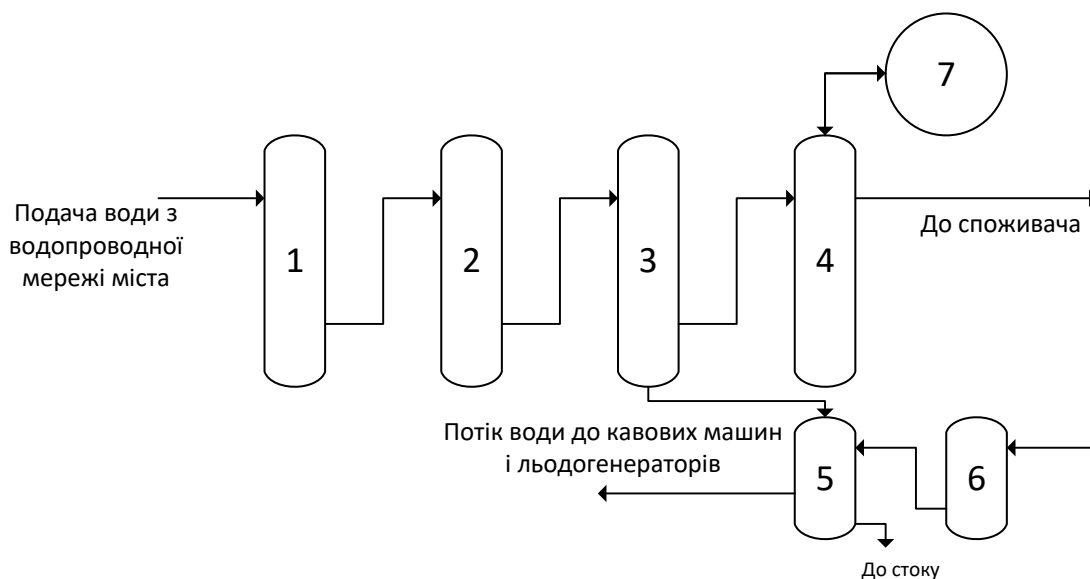


Рисунок 3.6 – Апаратно-технологічна схема одержання якісної води для готельних комплексів

Примітка: 1 – автоматизована система дискових картриджних фільтрів; 2 – колона, завантажена засипкою Rurolox; 3 – колона, завантажена активованим вугіллям; 4 – колона, завантажена поліпропіленовим картриджем; 5 – колона, завантажена іонообмінною смолою в сольовій формі; 6 – бак для регенерації з сіллю NaCl; 7 – гідроаккумулятор на 100 дм³.

Як можна побачити на схемі, спочатку вода проходить **фільтри очищення**. Ми пропонуємо використовувати систему дискових картриджних фільтрів, яка затримує відносно великі частки іржі, які містяться у міському водогоні, пісок, суспензії тощо. Складові системи виготовлені з полімерних матеріалів, отже мають високу витривалість. Канавки, нанесені на поверхні,

дозволяють затримувати тверді домішки, але при цьому не перешкоджають потоку води. В середньому ці фільтри затримують частинки, розміром від 800 до 20 мікрон. Пристрій є достатньо компактним, має невелику вагу, при цьому його корисна площа ділянки, що утримує бруд, є відносно великою. Ці фільтри не потребують регулярної заміни, для їхньої регенерації достатньо їх промити та знов поставити на місце. У сучасних моделях є вбудована функція автоматичної регенерації.

Оскільки ми припускаємо можливість потрапляння з водогону води з підвищеним рівнем заліза та інших небезпечних для здоров'я хімічних елементів, ми вважаємо доречним ввести в схему колону з наважкою Pyrolox. Ефективність дії цієї наважки ми перевірили у експериментальному досліді.

Функціонування цієї засипки відповідає каталітичному методу. В основу цього методу закладено каталітичне окиснення двовалентного заліза до тривалентного у товщі фільтрувальних обладнань [24].

Каталітичні завантаження – це природні матеріали, у структурі яких міститься каталізатор окиснення, яким найчастіше є діоксид марганцю або матеріали, в які він введений за допомогою обробки. У колонах з такими матеріалами одночасно відбуваються три процеси: окиснення (перехід Fe^{2+} в Fe^{3+}); осадження та фільтрування осаду. Залізо, яке було окиснене на поверхні гранул, через певний час змивається потоком зворотного промивання. Матеріал, що прореагував, або регенерується, або замінюється новим [25].

Відомо, що при наявності каталізаторів, розчинених у оброблюваній воді іонів міді, марганцю і фосфат-іонів, а також при контакті її з гідроксидом тривалентного заліза, швидкість окиснення двовалентного заліза киснем значно зростає. З підвищенням значення рН середовища час, який витрачається на окиснення сполук двовалентного заліза, значно скорочується. Всі системи, засновані на каталітичному окисненні, визначаються великою питомою вагою і великими витратами води при зворотному промиванні.

Внаслідок підкислення середовища може відбуватися уповільнення або зупинка процесу осадження. Воно йде шляхом розчинності гідроксиду. В каталітичних процесах відбувається посилення окиснюваної дії через наявність на поверхні іонів 3-х або 4-х валентних оксидів мангану. Іони проявляють сильні окиснювальні властивості і забезпечують високий рівень очищення води.

У нашій схемі ми вирішили використовувати завантаження «Pyrolox». Pyrolox — це гранульоване середовище для фільтрації води, яке використовується для видалення сірководню, заліза та марганцю. Pyrolox, що видобувається природним шляхом, використовується для очищення води більше 75 років. Pyrolox працює шляхом окиснення заліза, марганцю та сірководню в проблемній воді. Потім уловлені частки видаляються з шару середовища під час циклу зворотного промивання.

Рихлий осад $\text{Fe}(\text{OH})_3$ осідає в міжзерновому просторі фільтрувального матеріалу Pyrolox. Відновлення/регенерація/засипки проводять в автоматичному режимі зворотною промивкою, за якої відбувається розпушення шару засипки, тертя гранул між собою і винесення осаду $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у промивну воду в каналізаційну мережу.

На третьому етапі очищення води нами використана колона з активованим вугіллям. Вона видаляє з води органічні речовини, хлорпохідні, гази, розчинені у воді; хлорорганічні сполуки, сорбуючи їх всією пористою поверхнею. Колона має складові з порами різних розмірів (від супремикро пор до макропор). Також фільтрація активованими вугіллям дозволяє покращити смакові властивості питної води та її запах. Після проходження базових етапів очищення потік води розділяється на два: один йде на колону з поліпропіленовим картриджем (4 етап), задля додаткового очищення й використання для приготування їжі; а другий потік йде до колони, завантаженої іонообмінною смолою, для додаткового пом'якшення, видалення іонів кальцію та магнію. Другий потік використовується для приготування напоїв та льоду.

Найбільш тонка фільтрація відбувається на четвертому етапі. Ми застосували в нашій схемі колону з поліпропіленовим картриджем. Цей картридж містить волокна поліпропілену, які забезпечують абсорбацію маленьких частинок, розмір пор досягає іноді лише 1 мікрону. Картридж має складну структуру, поєднуючи волокна декількох шарів. Внутрішні шари мають мені за розміром пори, а зовнішні шари – більші. Така багаторівнева фільтрація водопровідної води гарантує її очищення від заліза та залізних сполук. Очищена вода подається до споживання в номери готельного комплексу, на кухню, в СПА-салони. Ключову роль у стабільності її подачі відіграє гідроаккумулятор на 100 дм,³ чия функція полягає у захисті від гідродударів, що виникають внаслідок зміни тиску рідини, у забезпеченні стабільного потоку води (на схемі він позначений цифрою 7). Принцип роботи акумулятора полягає у тому, що після відкриття крана включається насос, який забезпечує подавання води до мембрани. Наповнення відбувається до досягнення рівня тиску 1,8–3 атмосфери. Після заповнення водою пристрій для напірного переміщення відключається.

На п'ятому етапі обробки вода проходить колону, завантажену іонообмінною смолою в сольовій формі. Іонообмінна смола являє собою полімерний матеріал, здатний обмінювати іони води на іони інших речовин. На цьому етапі з води видаляються солі жорсткості (Ca, Mg). Таке видалення солей дозволяє вирішити проблему утворення накипу та сольових відкладень на нагрівальних елементах та неприємний вапняний наліт на сантехніці й кахлі. Солі твердості не лише псує зовнішній вигляд об'єктів, але можуть сприяти й зниженню енергоефективності опалювальних систем, скорочують термін служби нагрівальних елементів бойлера і пральної машини, погіршують якість води, яка використовується для приготування їжі.

Принцип роботи даної колони полягає у тому, що іонообмінна смола містить на своїй поверхні іони натрію, і коли тверда вода проходить через шар іонообмінної смоли, ці іони натрію відриваються з поверхні й замінюють базові іони твердості — кальцій і магній. В результаті отримується очищена

вода, яка містить солі натрію, які не здатні утворювати наліт і накип, замість гідрокарбонатів кальцію і магнію.

Шостий блок нашої апаратурно-технологічної схеми – це бак для регенерації з сіллю NaCl, він забезпечує відновлення іонообмінної смоли з колони, позначеної на схемі 5. Принцип його роботи також заснований на заміні іонів кальцію та магнію на іони натрію. Він забезпечує насичений сольовий розчин для колони з іонообмінною смолою, який і виконує регенерацію смоли. Тобто вода з водогону поступає в бак 6, де знаходиться сіль, яка поступово розчиняється, а потім через мембрану цей сольовий розчин потрапляє в колону 5. Через певний час, необхідний для відновлення смоли, використана солена вода зливається в каналізацію. Після цього певний час вода, яка потрапляє до кавових машин, має легкий солений присмак.

Таким чином, нами отримано два типи води (для приготування напоїв та приготування їжі). За потреби можна контролювати показники якості питної води на вміст сполук заліза, твердість загальна, лужність загальна, перманганатна окиснюваність води, мінералізація, колі індекс і колі-титр. Всі перераховані фізико-хімічні і мікробіологічні показники якості очищеної води мають відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Проби можна проводити за встановленим графіком.

Висновки до розділу 3:

На основі серії проведених дослідів стосовно складу води, взятої з бювету парку Т.Г. Шевченка, було побудовано градувальний графік для визначення заліза загального за колориметричною методикою з калій роданідом при $\lambda = 490$ нм, $l = 5$ см. Для обчислення концентрації заліза за показником оптичної густини було розроблене спеціальне рівняння, яке дозволило отримати величину достовірності апроксимації.

Проведено ряд експериментальних досліджень, за результатами яких встановлено, що якість питної води, відібраної з бювету парку Т.Г. Шевченка відповідає вимогам ДСанПін 2.2.4-171-10 за показниками рН, жорсткості води та вмісту заліза.

Було розроблено апаратурно-технологічну схему покращення якості водопровідної води в готельних комплексах, що включає, яка дозволяє розподілити потік води у два шляхи. Її впровадження також стабілізує функціонування готельних комплексів, коли суттєво погіршується якість води в місцевій системі водогону.

РОЗДІЛ 4

МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА СИСТЕМОЮ НАССР

4.1. Загальна характеристика документації НАССР

Вимоги до безпеки питної води та параметри її оцінки визначаються в нормативних документах системи НАССР. Згідно наказу Міністерства аграрної політики та продовольства України №590 «Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпекою харчових продуктів (НАССР)», документація системи НАССР поділяється на:

- базову: план НАССР, процедури;
- оперативну: протоколи, записи.

До базової документації належать:

- склад групи НАССР та її обов'язки;
- опис харчового продукту та його передбачуване споживання

використання;

- перевірена блок-схема виробництва;
- аналіз небезпечних факторів;
- методологія визначення КТК;
- критичні межі та їх обґрунтування;
- система моніторингу, процедури моніторингу кожної КТК;
- процедури застосування коригувальних заходів;
- процедура валідації, верифікації.

До оперативної документації належать:

- протоколи нарад НАССР групи;
- протоколи моніторингу КТК;
- протоколи впровадження коригувальних заходів;
- протоколи валідації, верифікації [26].

Усі документи системи НАССР повинні бути належним чином оформлені. Система повинна бути ефективною та зрозумілою для персоналу. Також дозволяється документування та ведення записів інтегрувати до існуючої системи ведення документації на потужності, використовуючи існуючі форми документів (наприклад, технологічні журнали). Під час ведення протоколів, записів в електронній формі необхідно дотримуватися вимог щодо ведення протоколів:

- усі важливі протоколи, необхідні для виконання вимог до харчового продукту, є повними, деталізованими і збереженими, а також доступними у разі запитів;

- протоколи є чіткими і достовірними, а також зберігаються так, щоб унеможливити несанкціоновані зміни;

- усі протоколи зберігаються відповідно до вимог статті 21 (п. 3, част. VI) Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» [27].

Протоколи є важливим доказом ефективного функціонування системи НАССР при проведенні аудиту системи НАССР органом державного контролю. Будь-які правки до записів здійснюються лише уповноваженими особами. Усі примірники документів на харчовому підприємстві, які застосовуються у рамках процесу системи управління безпечністю харчових продуктів мають один із чотирьох статусів:

а) Контрольний – це оригінал документа внутрішнього або зовнішнього походження. Контрольні примірники зберігаються у представників керівництва підприємства. Їхнє використання підрозділами підприємства не допускається;

б) Врахований – це зареєстрована копія контрольного примірника, документа із присвоєнням йому відповідного номера. Кількість врахованих примірників визначається представником керівництва із спеціальною реєстрацією за допомогою картки руху документів СМБХП. Незареєстровані примірники документів забороняється використовувати для роботи;

в) Інформаційний;

г) Анульований – характеризує документи, які втратили актуальність та не можуть бути в подальшому використані [27].

4.2. Аналіз ризиків хімічних, фізичних і мікробіологічних факторів, що мають місце у виробництві

У таблиці 4.1 наведені фактори небезпеки, та їхня значущість на які слід зазначити увагу при виробництві фасованої води.

Таблиця 4.1.

Аналіз небезпечних факторів, що враховуються у виробництві фасованої води

№	Найменування фактору	Ймовірність виникнення, В	Серйозність наслідків, С	Значення коефіцієнту $K = V \times C$	Значущість небезпечного фактору (необхідність обліку). + -
1	Будівельні матеріали	0,2	2	0,4	-
2	Птахи, гризуни, комахи і відходи їх життєдіяльності	0,1	1	0,1	-
3	Особисті речі	0,1	1	0,1	-
4	Відходи життєдіяльності персоналу	0,1	2	0,2	-
5	Елементи технологічного оснащення	0,2	1	0,2	-
6	Продукти зносу машин і обладнання	0,1	3	0,3	-
7	Метало-домішки	0,3	3	0,9	+
8	Уламки скла	0,1	3	0,3	-
9	Осад	0,3	2	0,6	+
10	Вода	0,3	1	0,3	-
11	Забруднення мастильними матеріалами	0,1	1	0,1	-
12	Папір і пакувальні матеріали	0,3	1	0,3	-
13	Елементи миючих засобів	0,2	3	0,6	+

Продовження таблиці 4.1

14	Елементи дезінфікуючих засобів	0,2	2	0,4	-
15	Елементи технологічних реагентів	0,1	3	0,3	-
16	Радіонукліди	0,2	3	0,6	+
17	Мікотоксини	0,1	1	0,1	-
18	Токсичні елементи	0,2	3	0,6	+
19	Пестициди	0,1	3	0,3	-
20	КМАФАнМ (мезофільно-аеробні, факультативно-анаеробні Омікроорганізми)	0,1	1	0,1	-
21	БГКП (бактерії групи кишечник паличок (колі форми), в 1 г)	0,1	1	0,1	-
22	Дріжджі	0,1	1	0,1	-
23	Патогенні мікроорганізми, в т.ч. бактерії роду Salmonella	0,1	3	0,3	-
24	Плісеневі гриби	0,1	3	0,3	-

У таблиці 4.2. проаналізовані небезпечні фактори яких повинні дотримуватися виробники фасованої питної води після її знезараження.

Таблиця 4.2

Аналіз небезпечних факторів, що враховуються після знезараження фасованої води

№	Найменування фактору	Ймовірність виникнення, В	Серйозність наслідків, С	Значення коефіцієнту $K = B \times C$	Значущість небезпечного фактору (необхідність обліку). + -
1	Будівельні матеріали	0,1	1	0,1	-
2	Птахи, гризуни, комахи і відходи їх життєдіяльності	0,1	1	0,1	-
3	Особисті речі	0,1	1	0,1	-

Продовження таблиці 4.2

4	Відходи життєдіяльності персоналу	0,1	2	0,2	-
5	Елементи технологічного оснащення	0,3	1	0,3	-
6	Продукти зносу машин і обладнання	0,1	3	0,3	-
7	Метало-домішки	0,3	3	0,9	+
8	Уламки скла	0,1	3	0,3	-
9	Осад	0,3	2	0,6	+
10	Вода	0,3	1	0,3	-
11	Забруднення мастильними матеріалами	0,1	1	0,1	-
12	Папір і пакувальні матеріали	0,3	1	0,3	-
13	Елементи миючих засобів	0,2	1	0,2	-
14	Елементи дезінфікуючих засобів	0,2	2	0,4	-
15	Елементи технологічних реагентів	0,1	3	0,3	-
16	Радіонукліди	0,2	3	0,6	+
17	Мікотоксини	0,1	1	0,1	-
18	Токсичні елементи	0,2	3	0,6	+
19	Пестициди	0,1	3	0,3	-
20	КМАФАнМ (мезофільно-аеробні, факультативно-анаеробні мікроорганізми)	0,3	3	0,9	+
21	БГКП (бактерії групи кишечник паличок (колі форми), в 1 г)	0,3	3	0,9	+
22	Дріжджі	0,2	3	0,6	+
23	Патогенні мікроорганізми, в т.ч. бактерії роду Salmonella	0,3	3	0,9	+
24	Плісеневі гриби	0,2	3	0,6	+

Висновки до розділу 4: Було зроблено перелік основних документів системи НАССР та умови їхнього оформлення з метою визначення вимог щодо безпеки питної води та параметрів її оцінки. Також була проведена характеристика небезпечних факторів, які потрібно врахувати при виробництві питної води та її знезараженні.

РОЗДІЛ 5

ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

5.1. Економічна ефективність розробки та її соціальне значення.

Ефективність виробництва являє собою комплексне відбиття кінцевих результатів використання засобів виробництва і робочої сили за певний проміжок часу. Її родовою ознакою слугує необхідність досягнення мети виробничо-господарської діяльності підприємства з найменшими витратами суспільної праці. Змістовне тлумачення ефективності як економічної категорії визначається об'єктивно діючим законом економії робочого часу, що є утворювальною субстанцією багатства і мірою витрат, необхідних для його нагромадження [28]. Проблемою економічної ефективності є вибір що, як і яким чином проводити, як розподіляти ресурси, капітал і прибуток. Від рівня економічної ефективності багато в чому залежить вирішення низки соціально-економічних завдань, таких як підвищення рівня життя населення, швидке зростання економіки, вдосконалення умов праці та відпочинку, зниження рівня інфляції [29].

Економічна ефективність підприємства визначається основними факторами:

- 1) запровадження максимально досяжних економічних цілей, орієнтованих на весь потенціал підприємства;
- 2) виявлення змін, необхідних для повного розкриття потенціалу підприємства;
- 3) проведення необхідних змін, досягнення поставлених стратегічних цілей.

Усі зазначені фактори взаємопов'язані між собою, та повинні ставитися для досягнення цілей, які визначаються всім колективом. Об'єктивна оцінка ефективності діяльності підприємства має велике значення, через властивість

характеризувати успішність менеджменту підприємства, формувати його імідж, сприяти доступу на ринки капіталу й обґрунтовувати доцільність інвестицій. Підвищення економічної ефективності будь-якого суб'єкта господарювання відіграє важливу роль у його діяльності, але при цьому формує потребу постійного контролю та пошуку шляхів її зростання [29]. Класичними показниками ефективності господарювання у ринковій економіці є прибуток і рентабельність. Динаміка норми прибутку визначає темпи підвищення капіталу і темпи зростання національної економіки. Від тенденцій зміни цього показника залежить характер розвитку різних сфер економіки [30].

Ефективність економічної системи залежить від ефективності виробництва, соціальної сфери, державного управління, яка визначається співвідношенням отриманих результатів до витрат і вимірюється сукупністю кількісних показників. Для вимірювання ефективності виробництва використовують показники продуктивності праці, фондівіддачі, рентабельності, окупності та ін. За їх допомогою аналізують різні варіанти розвитку виробництва, розв'язання його проблем.

При аналізі ефективності соціальної сфери застосовуються якісні показники розвитку галузей даної сфери [30].

Фактори, що впливають на ефективність діяльності підприємства, відповідно до категорій показників можуть бути класифіковані за трьома основними ознаками:

- 1) за основними напрямками розвитку та вдосконалення виробництва, які є складовими технічних, організаційних та соціально-економічних заходів, на основі яких досягається економія суспільної праці;

- 2) за джерелами підвищення ефективності (зниження трудомісткості, матеріаломісткості, фондомісткості та капіталомісткості виробництва, економії часу, раціонального використання природних ресурсів);

- 3) за сферою застосування фактори (народногосподарські, міжгалузеві, регіональні, галузеві та внутрішньовиробничі) [29].

Рівень ефективності діяльності підприємства залежить також від зовнішніх та внутрішніх чинників. До зовнішніх відносяться: 1) державну та соціальну політику; 2) інституційні механізми; 3) інфраструктура; 4) структурні зміни в суспільстві та економіці тощо. Внутрішні чинники розподіляють на «тверді» (піддаються вимірюванню та мають фізичні параметри (технологія, устаткування, матеріали, енергія, виробы)), та «м'які» (організація і система управління, працівники, методи роботи, стиль управління). Кожне підприємство мусить постійно контролювати процес використання внутрішніх чинників через розроблення та послідовну реалізацію власної програми підвищення ефективності діяльності, а також враховувати вплив на неї зовнішніх чинників [29].

Проблема визначення ефективності управління підприємством та пошуку шляхів її підвищення є складною, оскільки деякі фактори створюють певні можливості, які можуть підвищити ефективність управління підприємством, проте як інші, навпаки, створюють загрозу його існуванню. Покращити показники економічної ефективності функціонування можна за умови запровадження ефективного менеджменту в усіх підрозділах та на всіх етапах виробничого процесу. Особливу увагу при цьому необхідно приділити питанням мотиваційного механізму залучення працівників підприємств до участі в його управлінні, посилення стимулів до створення і впровадження інноваційних підходів [29]. В Україні у період економічного піднесення спостерігається зростання ефективності виробництва, що ґрунтується на підвищенні інтенсивності використання існуючих ресурсів (завантаженості потужностей, інтенсифікації праці) й супроводжується скороченням середньорічної кількості найманих працівників [30].

5.2. Екологічні проблеми у виробництві питної води та шляхи їх вирішення

Нинішній стан України визначається нестримним погіршенням екологічної ситуації, значний вплив якого відбувається в регіонах давнього й інтенсивного промислового освоєння. Одним з істотних екологічних наслідків промислового виробництва є забруднення природних водних об'єктів – річок, озер, підземних вод тощо. В останні десятиріччя масштаби забруднення стали настільки значними, що проблема набула як геоекологічного, так і медико-соціального характеру. Тому дослідження екологічного стану водних об'єктів – джерел питного водопостачання є дуже актуальними [31].

60% води України визначені непридатними для пиття. До найбільш брудних річок відносять Сіверський Донець, Сулу, Дністер, Кальмиус і Західний Буг. У останньому концентрація азоту в 15, а важких металів в 8 разів вище за норму. У притоках Дністра рівень марганцю перевищує допустиму відмітку в 29 разів. Каховське, Київське, Кременчуцьке і Дніпродзержинське водосховища мають вміст міді і марганцю в 80 разів більше, ніж прописано в стандартах [32].

Практично усі водойми наближаються характеризуються як забруднені і брудні. Навіть якщо на станціях воду правильно очистять, проведуть знезараження, пом'якшать і позбавлять від неприємного смаку і запаху, вона знову перетвориться на брудну через старі труби.

До основних причин, що зумовлюють загрозливий екологічний стан природних вод України, належать: 1) скидання неочищених та недостатньо очищених промислових стічних вод безпосередньо у водні об'єкти та через систему міської каналізації; 2) надходження до водних об'єктів забруднюючих речовин у процесі поверхневого стоку. 3) наповнення підземних вод вмістом нітратів [32].

Згідно постанови Верховної Ради України «Про основні напрямки державної політики у галузі охорони довкілля, використання природних

ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» були визначені актуальні екологічні проблеми природних вод на території України:

- надмірне антропогенне навантаження на водні об'єкти внаслідок екстенсивного способу ведення водного господарства, що призводить до кризового зменшення їхнього потенціалу самоочищення та самовідтворення й виснаження водоресурсного потенціалу;

- значне забруднення водних об'єктів внаслідок непорядкованого відведення стічних вод від населених пунктів, господарських об'єктів і сільськогосподарських угідь;

- широкомасштабне радіаційне забруднення басейнів багатьох річок внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС;

- погіршення якості питної води внаслідок незадовільного екологічного стану джерел питного водопостачання, невідповідності існуючих технологій водопідготовки санітарним нормам і правилам внаслідок різкого погіршення стану води у водних об'єктах, де проводиться водозабір;

- недосконалість економічного механізму фінансування й реалізації водоохоронних заходів;

- відсутність автоматизованої постійно діючої сітки моніторингу системи водокористування тощо [31].

Наслідки забруднення можна назвати небезпечними і усеосяжними:

- зменшення видової різноманітності морської і річкової флори і фауни;
- заростання і зникнення водойм;
- погіршення смаку, кольору і запаху води;
- руйнування емалі зубів із-за надлишку фтору;
- спалахи гепатитів, спровоковані бактеріями і кишковою паличкою;
- перевантаження організму залізом, що викликає порушення формування кісткової тканини;
- накопичення свинцю, хрому, кадмію, бензапірену, а також хлору у воді;
- інфекційні і кишкові захворювання;

- погіршення стану волосся і шкіри;
- зараження води паразитами [32].

Одним із принципових питань гігієни питної води є охорона джерел водопостачання, найважливішими гігієнічними характеристиками яких є доступність джерела, його водність, співвіднесена з потребами у воді, відкритість до впливу природних і техногенних чинників та ступінь надійності джерела в гігієнічному відношенні [31]. Навіть якщо на станціях водоочищення виконують всі необхідні етапи знезараження та фільтрації, якість води значно погіршується під час її транспортування до кінцевого споживача. Старі та зношені труби не тільки додають до води механічні домішки, але й створюють середовище для розвитку бактерій. Окрім цього, використання застарілих технологій хлорування для знезараження води призводить до появи небезпечних хлорорганічних сполук. Така вода не тільки має неприємний смак та запах, але й є небезпечною для здоров'я. Тому, щоб уникнути негативних наслідків, слід дотримуватися встановлення додаткових систем фільтрації домівках [32].

Висновки до розділу 5: Були проаналізовані економічні та екологічні аспекти якості питної води України. Економічні аспекти визначаються спеціальними факторами, якими повинно дотримуватись задля збереження сталого прибутку. Якість води в наявних джерелах водопостачання є незадовільною. Покращення її екологічного стану водного можливе через влаштування заходів з охорони природи так спеціальних методів очистки води.

ВИСНОВКИ

1. У роботі розглянуто загальний вміст заліза підземних вод та його вплив на людський організм. Залізо є одним із елементів, який бере участь у кровотворенні, синтезуючи гемоглобін. Воно також забезпечує роботу щитовидної залози, перенос і зберігання кисню, виділення гормонів та нормальне функціонування клітин організму. Дефіцит заліза виникає внаслідок зниженого споживання феруму та підвищеної потреби в ньому через швидкий ріст, надмірну крововтрату, вагітність. Існує два основних сучасних методів видалення заліза з води: реагентні та безреагентні (каталітичні; іонообмінні; біохімічні (біологічні)). В їх основі знаходиться процес окиснення двовалентного заліза до тривалентного, під час якого залізо переходить у нерозчинну форму та затримується фільтрами. До основних засобів знезалізнення відносяться: фільтрація, окиснення та пом'якшення. Фільтрація забезпечує утримання заліза за допомогою спеціальних фільтрів. У ході окиснення використовують певні елементи-окислювачі (кисень, хлор, озон та ін.), які перетворюють розчинене залізо у окиснену тривалентну форму та роблять її менш розчинною, в наслідок чого вона легко захоплюється фільтром. Пом'якшувачі води забезпечують видалення солей твердості і твердих частинок, що містяться в воді.

2. Опановано методики визначення заліза загального у воді, твердості загальної, лужності загальної; водневого показника рН і мінералізації води. Проведено фізико-хімічний аналіз води з бювету парку Т.Г. Шевченка і зроблено відмітку про її відповідність показникам якості води відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10. Експериментальним шляхом продемонстровано, що використання наважки Pyrolox, яка дозволяє знизити концентрацію заліза в воді.

3. Низка проведених дослідів складу води, отриманої з бювету парку Т.Г. Шевченка, дозволила побудувати градувальний графік для визначення заліза загального за колориметричною методикою з калій роданідом при $\lambda = 490$ нм, $l = 5$ см. Виведено рівняння для обчислення

концентрації заліза за показником оптичної густини, отримано величину достовірності апроксимації.

4. Розроблено апаратурно-технологічну схему покращення якості водопровідної води в готельних комплексах, що включає: автоматизовану систему дискових картриджних фільтрів; колону, завантажену засипкою Pyrolox; колону, завантажену активованим вугіллям; колону, завантажену поліпропіленовим картриджем; колону, завантажену іонообмінною смолою в сольовій формі; бак для регенерації з сіллю NaCl; гідроакумулятор на 100 дм³. Ця технологія дозволяє розподілити потік води на два, які відрізняються рівнем очищення: 1) для споживчих потреб мешканців готельних комплексів; 2) для пристроїв з питною водою, яка проходить більш якісне очищення з використанням колони для пом'якшення. Впровадження цієї технології дозволяє також стабілізувати функціонування готельних комплексів у періоди, коли з природних або технологічних причин суттєво погіршується якість води в місцевій системі водогону.

5. У ході виконання роботи було також описано основну документацію системи НАССР, умови їхнього оформлення, небезпечні фактори при виробництві питної води, а також економічні та екологічні аспекти якості питної води України. Усі вони мають важливе значення щодо визначення якості питної води та оцінки її безпечності.

(підпис)

29.11.2024

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гусятинська Н., Шульга С., Заруба Т. Дослідження процесу деманганації та знезалізнення підземних вод шляхом використання сучасних фільтрувальних завантажень. *Матеріали XXX Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку»*: Зб. наук. праць. Переяслав-Хмельницький, 2017. Вип. 30. С. 9-10.
2. Соловей І.С., Островська Н.Д., Луговий Б.В. Аналіз тенденцій готельної індустрії в Україні. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*, No1 (82), 2023. С. 140-149.
3. Горбань В.К. Розвиток індустрії гостинності в Україні. *Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Сучасні технології менеджменту, інформаційне, фінансове та облікове забезпечення розвитку економіки в умовах євроінтеграції»*. Черкаси: Східноєвропейський університет економіки і менеджменту, 2020. 557 с. С.509-512.
4. Залізо у воді. *Ecosoft: BWT Water Professionals*. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/zhelezo-v-vode/>
5. Chaturvedi S., Plagnesh N.D. Removal of iron for safe drinking water. *Desalination*. 2012. Vol. 303, 1 October 2012, Pages 1-11. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916412003633>
6. Abbaspour N., Hurrell R., Kelishadi R. Review on iron and its importance for human health. *Journal of research in medical science*. 2014. Vol.19 (2). P. 164–174. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3999603/>
7. Iron. The Nutrition Source. *Harvard. T.H. Chan. School of public health*. 2023. URL: <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/iron/>
8. Iron removal with water softeners. *Hill. Robert B. Hill Co. Water conditions*. 2019. URL: <https://www.hillwater.com/resources/iron-removal.aspx>
9. Robinson B. How to remove iron from well water. *Fresh Water Systems*. 2019. October 24. URL:

<https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/how-to-remove-iron-from-well-water>

10. Iron removal. *Suez. Degremont Water handbook*. URL: <https://www.suezwaterhandbook.com/processes-and-technologies/drinking-water-treatment/specifics-water-treatment/Iron-removal>

11. Орлов В.О. Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням. Монографія. Рівне: НУВГП, 2008. 158 с.

12. Калюжний А.П. Реагентні методи знезалізнення води. *Методичні вказівки з дисципліни «Спеціальні методи підготовки води» для студентів спеціальностей 7.06010108, 8.06010108 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів» (освітньо-кваліфікаційний рівень – спеціаліст, магістр) усіх форм навчання*. Полтава: ПолтНТУ, 2012. С. 33-36.

13. Вітковський В.С., П.М. Гламаздин П.М., Габа К.О. Перспективи розвитку нових методів підготовки води для систем централізованого теплопостачання. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук-техн. збір*. Київ: КНУБА, 2016. С. 55-62.

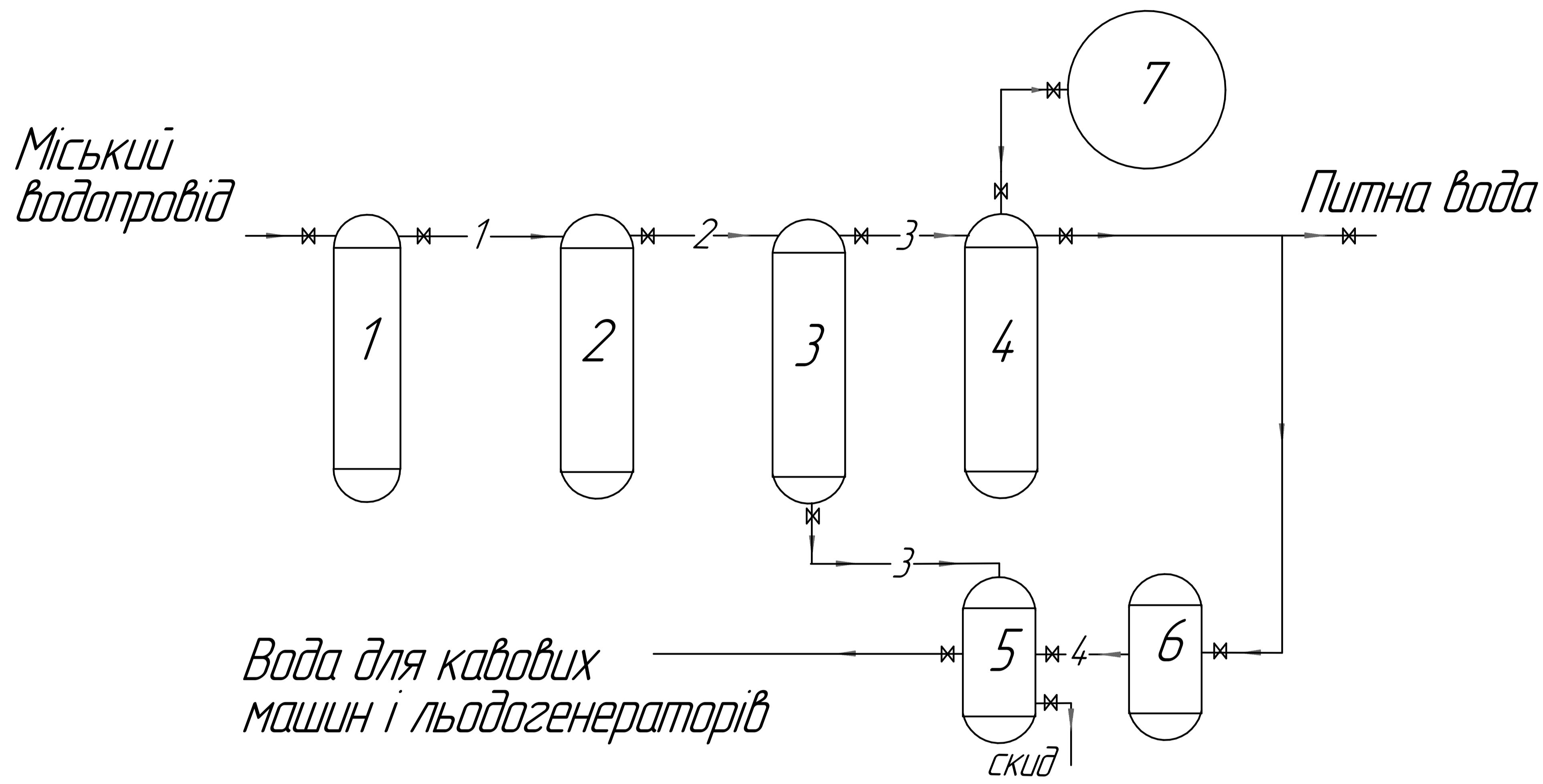
14. Стасюк С. Лабораторні дослідження процесів безреагентного знезалізнення підземних вод фізико-хімічним та біологічним методами. *Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ: НУХТ, 2018. С. 66-68.

15. Квартенко О.М. Інтенсифікація роботи станцій знезалізнення води, які працюють в гравітаційному режимі. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник*. Київ: КНУБА, 2016. С. 155-162.

16. Чарний Д.В. Створення нових ресурсозберігаючих технологій очищення і використання води в системах сільськогосподарського водопостачання. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник*. Київ: КНУБА, 2016. С. 413-426.

17. Головач К., Чернова Н., Якупова І. Видалення сполук Mn матеріалами Calcite та Pyrolox. *Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки*: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: НУХТ, 2018. С. 171-173.
18. Твердохліб М.М. Інтенсифікація процесів очищення води від сполук заліза та марганцю: дис.-ція на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук за спеціальністю: 21.06.01 – екологічна безпека, технічні науки. Київ: НТУУ, 2019. 235с.
19. Олійник С.І., Ковальчук В.П., Опанасюк Т.І. Застосування фільтрувально-сорбційних матеріалів під час знезалізнення та деманганації технологічної води у виробництві лікерогорілчаної продукції. *Матеріали між нар. наук.-практич. конф. «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи»*. К: НУХТ, 2010. С. 50.
20. Bienvenu A.W.V. Removal of Iron from Industrial Ground Water. *Current Research in Wastewater Management*. 2021. Vol. 1 (1), 5. P 1-5. DOI:[10.31586/wastewater101005](https://doi.org/10.31586/wastewater101005)
21. Деферизація води. Огляд доступних технологій. *Softwave*. URL: <https://www.softwave.com.ua/deferrizatsiya-vodi-iz-skvajini-ukr/>
22. Берегова О., Кобушкіна Н. Удосконалення технології питного водопостачання м. Татарбунари. *Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки*: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: НУХТ, 2018. С. 79-80.
23. Маляренко В.В., Яременко В.А., Жукова Е.Н., Гончарук В.В. Использование ультразвуковой обработки для снижения ХПК при очистке сточных вод углем // Химия и технология воды. – 2004. - №5. – С.459-470.
24. Головач К., Чернова Н., Якупова І. Видалення сполук Mn матеріалами Calcite та Pyrolox. *Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки*: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: НУХТ, 2018. С. 171-173.

25. Залізо у воді. *Ecosoft: BWT Water Professionals*. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/zhelezo-v-vode/>
26. Принцип НАССР №7. Документування. *Знаймо*. URL: <https://znaimo.gov.ua/pryntsyp-nassr-7-dokumentuvannia>
27. Закон України Про питну воду та питне водопостачання [Електронний ресурс]. *Рівнеоблводоканал*. URL: https://vodarivne.com/ua/laboratoriya_z_ochishennya_stokiv
28. Поняття і види ефективності: економічна суть і загальна методологія визначення. *Освіта.ua*. URL: https://ru.osvita.ua/vnz/reports/econom_pidpr/19420/
29. Ярославський А. О. Економічна ефективність діяльності підприємства: теоретичний аспект. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*: Випуск 20, частина 3, 2018. – С. 174-177
30. Економічна ефективність. *Енциклопедія сучасної України*. URL: <https://esu.com.ua/article-18769>
31. Насальська К. Екологічні проблеми природних об'єктів – джерел питного водопостачання в Україні. *Історія Української кафедри*: Випуск 36, 2017. – С. 80-82
32. Забруднення води: види, джерела, наслідки. *Akvantis*. URL: <https://akvantis.com.ua/stati-i-obzory/tipy-zagryazneniya-vody-i-ih-posledstviya-ua>



Назва	Графічне позначення
Вода після картриджного фільтру	— 1 —
Вода з низьким вмістом заліза	— 2 —
Вода після нанофільтрації	— 3 —
Вода з високим вмістом солі	— 4 —

Позиція	Назва	Кількість
1	Дисковий картриджний фільтр	1
2	Засипка Pyrogalox	1
3	Активоване вугілля	1
4	Поліпропіленовий картридж	1
5	Іоннообмінна смола	1
6	Бак для регенерації з сіллю	1
7	Гідроаккумулятор	1

Апаратно-технологічна схема очищення водопровідної води в готельних комплексах				Літера	Маса	Масштаб
ЗМ	Архив	№ докум.	Підпис	Дата	Н Д	Б/М
Студент					Архив	Архив
Керівник	Коробоч ІВ					1
Керівник	Сабченко Д І					
Інженер						
Інженер						
Завкадр	Чернова Н М					
План на відмітці 0.000				НУХТ ННІХТ		