

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ПРОМИСЛОВОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ

«На правах рукопису»
УДК 621.313.8 : 631.53.02

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Віта ГАЛИШ
«__» _____ 20__ р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Екологічна безпека» зі
спеціальності Е2 «Екологія» на тему:
«Стабілізаційна обробка води магнітним полем»

Виконала:

студентка II курсу, групи ЛЕ-41мп
Меновщикова Альона Василівна _____

Науковий керівник:

Професор кафедри Е та ТРП, доктор технічних наук, професор
Радовенчик В'ячеслав Михайлович _____

Консультант з розділу стартап проекту:

Доцент, к.е.н., доцент кафедра промислового маркетингу,
Юдіна Наталія Володимирівна _____

Консультант за згодою д.х.н.:

провідний науковий співробітник відділу зварювання пластмас,
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Демченко В.Л. _____

Рецензент:

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

Київ – 2025 року

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

Інститут (факультет)

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології

(повна назва)

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність Е2 Екологія

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Віта ГАЛИШ

(підпис)

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Меновщиківій Альоні Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Стабілізаційна обробка води магнітним полем»

науковий керівник дисертації Радовенчик В'ячеслав Михайлович,
професор кафедри Е та ТРП, доктор технічних
наук.

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

затверджені наказом по університету від «03» листопад 2025 р. № 4744-с

2. Термін подання студенткою дисертації «01» грудня 2025 р.

3. Об'єкт дослідження: жорстка вода з підвищеним вмістом іонів кальцію та магнію

4. Предмет дослідження: процеси кристалізації карбонату кальцію та ефективність стабілізаційної обробка води магнітним полем

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Вивчити сучасний стан досліджень в галузі обробки водних розчинів магнітним полем.
2. Визначити напрямок досліджень та параметри, що піддаються контролю в результаті дії магнітного поля.

3. Визначити параметри магнітного поля, що можуть впливати на ефективність його впливу на водні розчини.
4. Дослідити зміну інтенсивності магнітного поля для різних конструкцій системи намагнічування.
5. Вивчити ефективність зниження жорсткості води в результаті обробки магнітним полем в апаратах різної конструкції.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 18

7. Орієнтовний перелік публікацій:

- Вощенко Б., Радовенчик В., Меновщикова А., Радовенчик Я. Особливості вимірювання ефектів обробки води магнітним полем // Вісник Хмельницького національного університету, №3, 2025 (351). – С.113 – 118.

- Вощенко Б., Радовенчик В., Меновщикова А. Особливості обробки води постійним магнітним полем // Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference «Global Directions in Scientific Research and Technological Development» (January 27-29, 2025. Valencia, Spain). European Open Science Space, 2025. 111 - 114 p.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту	Юдіна Н.В., доцент, к.е.н., доцент кафедри промислового маркетингу		
Консультант за згодою д.х.н.	Демченко В.Л., провідний науковий співробітник відділу зварювання пластмас, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України		

9. Дата видачі завдання «01» вересня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Отримання завдання магістерської дисертації. Проходження переддипломної практики.	01.09.25 - 26.10.25	Виконано

2.	Збір, аналіз та оформлення науково-технічної літератури за темою роботи.	27.10.25-6.11.25	Виконано
3.	Вибір методик та методів проведення досліджень.	7.11.25-9.11.25	Виконано
4.	Вимірювання параметрів магнітного поля в апаратах з різним розміщенням магнітів.	10.11.25-13.11.25	Виконано
5.	Дослідження ефективності зниження жорсткості води шляхом обробки модельних розчинів магнітним полем	14.11.25-19.11.25	Виконано
6.	Розробка стартап-проєкту	20.11.25-29.11.25	Виконано
7.	Оформлення магістерської дисертації	30.11.25-9.12.25	Виконано
8.	Представлення роботи до захисту	10.12.24-21.12.25	Виконано

Студентка

(підпис)

Альона МЕНОВЩИКОВА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Вячеслав РАДОВЕНЧИК

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 149 ст., 24 рис., 26 табл., 93 використаних літературних джерел, 2 додатки.

Жорсткість води є однією з ключових проблем у сфері водопідготовки, оскільки вона спричиняє утворення накипу, що негативно впливає на побутові та промислові процеси. Традиційні методи пом'якшення води, такі як реагентне чи іонообмінне, мають значні екологічні та економічні недоліки. Одним із перспективних альтернативних підходів є магнітна обробка води, яка не потребує використання хімічних реагентів і мінімізує шкідливий вплив на довкілля.

Мета дослідження – виявити особливості впливу магнітного поля на процеси кристалізації карбонатів кальцію, визначити ефективність магнітної обробки води та обґрунтувати можливості її практичного застосування.

Об'єкт дослідження – жорстка вода з підвищеним вмістом іонів кальцію та магнію.

Предмет дослідження – процеси кристалізації карбонату кальцію та ефективність стабілізаційної обробки води магнітним полем.

Методи дослідження включають аналіз наукових джерел, лабораторні експерименти з магнітною обробкою води, фізико-хімічний аналіз осадів та математичне моделювання процесів кристалізації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості вдосконалення існуючих технологій водопідготовки, зниження використання реагентів та екологічного навантаження, що сприятиме сталому розвитку та раціональному використанню водних ресурсів. Отримані результати можуть бути застосовані у комунальному водопостачанні, енергетиці, промислових підприємствах та побутовій сфері.

Ключові слова: ЖОРСТКІСТЬ ВОДИ, МАГНІТНА ОБРОБКА, КРИСТАЛІЗАЦІЯ ІОНІВ, СТАБІЛІЗАЦІЙНА ОБРОБКА, ВОДОПІДГОТОВКА

ABSTRACT

Coursework: 149 pages, 24 figures, 26 tables, 93 references, 2 appendix.

Water hardness is one of the key issues in water treatment, as it leads to scale formation, negatively affecting both household and industrial processes. Traditional water softening methods, such as reagent or ion-exchange treatments, have significant ecological and economic drawbacks. A promising alternative approach is magnetic water treatment, which does not require chemical reagents and minimizes environmental impact.

The aim of the study is to identify the effects of a magnetic field on calcium and magnesium ion crystallization, determine the efficiency of magnetic water treatment, and justify its practical application.

The object of the study is hard water with increased calcium and magnesium ion concentrations.

The subject of the study is crystallization processes and stabilization water treatment under the influence of a magnetic field.

Research methods include an analysis of scientific sources, laboratory experiments with magnetic water treatment, physicochemical analysis of precipitates, and mathematical modeling of crystallization processes.

The practical significance of the obtained results lies in the potential improvement of existing water treatment technologies, reducing the use of reagents and environmental impact, thus contributing to sustainable development and the rational use of water resources. The findings can be applied in municipal water supply systems, energy production, industrial enterprises, and household use.

Keywords: WATER HARDNESS, MAGNETIC TREATMENT, ION CRYSTALLIZATION, STABILIZATION TREATMENT, WATER TREATMENT

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ.....	10
1.1 Реагентні методи стабілізації води відносно іонів жорсткості.....	10
1.2 Обробка води постійним магнітним полем.....	16
1.3 Обробка води перемінним магнітним полем.	23
1.4 Інші методи стабілізаційної обробки води.....	27
1.5 Апаратура та обладнання для стабілізаційної обробки води.....	33
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	52
2.1 Об'єкти досліджень	52
2.1.1 Водні розчини	52
2.1.2 Матеріали та реагенти	53
2.2 Методики проведення експериментів	54
2.3 Методики аналізу розчинів на вміст різноманітних сполук	60
2.3.1 Визначення вмісту іонів кальцію та магнію	60
2.4 Математична обробка експериментальних даних.....	60
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	63
3.1. Дослідження впливу магнітного поля на фізико-хімічні параметри водних розчинів.....	64
3.2 Оцінка ефективності впливу магнітного поля на процеси пом'якшення природних вод	66
3.3. Вивчення ефективності постійного магнітного поля.....	74
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ «ClearW: Інноваційне очищення води з оптимізованими дозами коагулянтів».....	80
4.1 Опис ідеї проєкту.....	80
4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту.....	87
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проєкту.....	88
4.4 Створення ринкової стратегії проєкту.....	106

4.5	Розроблення маркетингової програми стартап проєкту.....	112
4.6	Висновки щодо розробки стартап проєкту.....	121
	ВИСНОВКИ.....	124
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	126
	ДОДАТКИ.....	138
	ДОДАТОК А.....	138
	ДОДАТОК А.....	145

ВСТУП

Жорсткість води є одним із найважливіших показників її якості, що визначає її придатність для побутового та промислового використання. Цей параметр відображає концентрацію іонів кальцію (Ca^{2+}) та магнію (Mg^{2+}), які знаходяться у воді в розчиненому стані. Саме наявність цих іонів спричиняє утворення осадів карбонату кальцію (CaCO_3) та гідроксиду магнію ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), що в подальшому викликає суттєві проблеми у використанні води.

У побуті підвищена жорсткість води призводить до утворення накипу на поверхнях нагрівальних елементів та стінках труб. Це знижує теплопровідність і значно скорочує термін служби побутових приладів, таких як водонагрівачі, пральні та посудомийні машини. У промисловості наслідки жорсткості води є ще більш критичними: відбувається зниження ефективності теплообміну в енергетичних системах, пошкодження технологічного обладнання, підвищуються витрати на енергоресурси та обслуговування. Крім того, осади можуть накопичуватися у водопровідних системах, спричиняючи зменшення їх пропускної здатності та додаткові витрати на їх очищення чи заміну.

У ситуаціях, коли жорсткість води перевищує 7 мг-екв/дм³, вона потребує обов'язкового пом'якшення. Традиційні методи пом'якшення води включають реагентне, електрохімічне та термічне пом'якшення. Хоча ці методи досить поширені, вони потребують значних енерговитрат.

Альтернативою традиційним підходам є стабілізаційна обробка води. Цей метод полягає у запобіганні утворенню осадів без видалення іонів кальцію та магнію з води. З цією метою застосовують:

1. Хімічні речовини (антискаланти), які блокують ріст кристалів карбонату кальцію та гідроксиду магнію. Антискаланти є ефективними, але їх використання потребує ретельного дозування та контролю, а також може мати екологічні наслідки.
2. Фізичні методи впливу — застосування електричних або магнітних полів, що змінюють структуру води та її властивості. Ці методи викликають зростаючий

інтерес завдяки їхній екологічності, відсутності побічних продуктів та енергоефективності. Проте механізми дії фізичних полів на процеси кристалізації досі залишаються недостатньо вивченими.

Стабілізаційна обробка води стає все більш популярною в умовах сучасного екологічного тренду, спрямованого на зменшення використання хімічних реагентів. Серед таких методів особливу увагу привертає **магнітна обробка води**, яка базується на впливі магнітного поля на структуру води та її властивості. Магнітна обробка води передбачає вплив постійного або змінного магнітного поля на воду, що призводить до зміни процесів кристалізації іонів кальцію та магнію. В результаті осади утворюються у вигляді дрібних кристалів, які не прилипають до поверхонь, що запобігає утворенню накипу. Незважаючи на широке застосування цього методу, механізми його дії досі залишаються недостатньо вивченими, що обумовлює необхідність подальших досліджень.

Метою магістерської дисертації є вивчення впливу магнітного поля на процеси кристалізації іонів кальцію та магнію у воді, аналіз ефективності магнітної обробки води та розробка рекомендацій щодо її застосування. Об'єктом дослідження є жорстка вода з підвищеною концентрацією іонів кальцію та магнію, а предметом дослідження — процеси кристалізації та утворення осадів під впливом магнітного поля.

Дослідження передбачає не лише теоретичне обґрунтування явища, але й експериментальну перевірку гіпотез, що дасть змогу вдосконалити сучасні технології водопідготовки. Очікується, що результати роботи матимуть важливе наукове та практичне значення для подальшого розвитку технологій обробки води, спрямованих на підвищення її якості та економічності використання.

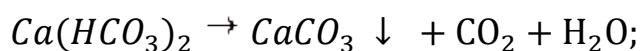
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ

1.1. Реагентні методи стабілізації води відносно іонів жорсткості

Жорсткість води є однією з ключових характеристик її хімічного складу, яка визначає придатність для побутового та промислового використання. Вона обумовлена наявністю у воді розчинених солей кальцію та магнію ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). Концентрація цих іонів визначає ступінь жорсткості води та впливає на її фізико-хімічні властивості.

Вода з твердістю менше 4 мг-екв/л класифікується як м'яка, від 4 до 8 мг-екв/л — як вода середньої твердості, а понад 12 мг-екв/л — як тверда вода. Наприклад, морська вода характеризується загальною твердістю близько 65 мг-екв/л, що пояснює її обмежене використання без попередньої обробки [1].

Розрізняють два основні типи жорсткості води: тимчасову та постійну. Тимчасова твердість спричинена наявністю гідрокарбонатів кальцію та магнію ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). Її особливість полягає у тому, що вона може бути усунена шляхом нагрівання або кип'ятіння води. У цьому процесі гідрокарбонати розкладаються з утворенням важкорозчинних карбонатів кальцію та магнію (CaCO_3 , MgCO_3), які випадають в осад. Цей осад, який часто називають накипом, утворюється на поверхнях нагрівальних елементів, що призводить до зниження їх ефективності та збільшення енергоспоживання [2].



Постійна жорсткість, у свою чергу, зумовлена присутністю хлоридів і сульфатів кальцію та магнію (CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4). Вона не усувається кип'ятінням, оскільки ці сполуки залишаються розчиненими у воді навіть при високих температурах. Для зменшення постійної твердості необхідно

використовувати спеціальні хімічні реагенти або застосовувати інші технологічні рішення.

Природна вода, яка містить високі концентрації іонів кальцію і магнію, класифікується як тверда. Тверда вода викликає значні проблеми у побуті та промисловості, зокрема:

- Утворення накипу в нагрівальних системах, що знижує ефективність теплообміну;
- Збільшення витрат на обслуговування та ремонт обладнання;
- Зменшення терміну служби побутової техніки, такої як пральні та посудомийні машини;
- Підвищення витрат на енергоресурси через зниження ефективності роботи систем.

Для пом'якшення води застосовують різні методи, включаючи термічний, реагентний і діаліз. **Термічний метод** полягає у нагріванні, дистиляції або виморожуванні води для видалення солей жорсткості. **Реагентні методи** передбачають використання хімічних речовин для осадження іонів кальцію та магнію у вигляді важкорозчинних сполук. **Діаліз** базується на різниці швидкостей дифузії солей жорсткості крізь напівпроникну мембрану під дією градієнта концентрації.

Антискаланти та їх застосування у стабілізаційній обробці води

Антискаланти – це спеціалізовані хімічні речовини, які використовуються для запобігання утворенню накипу на поверхнях обладнання, яке контактує з водою. Вони є важливим інструментом у стабілізаційній обробці води, оскільки дозволяють зменшити утворення осадів, таких як карбонати, сульфати та інші мінеральні сполуки, які можуть викликати корозію, зменшувати ефективність обладнання та скорочувати його термін служби [3].

Існує декілька основних типів антискалантів, які широко використовуються у водоочисних технологіях. Серед них виділяють фосфати, фосфонати та

полікарбоксилати. Кожен із цих типів має унікальні властивості, що визначають їх ефективність у конкретних умовах.

Фосфати, зокрема поліфосфати, такі як гексаметафосфат натрію (NaPO_3)⁶ (ГМФН), є одними з найпоширеніших засобів проти накипу. Їх ефективність обумовлена специфічними хімічними зв'язками $\text{O}-\text{P}-(\text{O})^3$, які формуються внаслідок реакцій конденсації ортофосфорної кислоти. Завдяки своїй структурі фосфати можуть ефективно запобігати утворенню накипу та стабілізувати воду. Проте, в деяких випадках, фосфати можуть утворювати відкладення фосфату кальцію, що потребує додаткового контролю [4].

Фосфонати – це солі або ефіри фосфонової кислоти ($\text{HPO}(\text{OH})_2$), які добре розчиняються у воді. Їх головною перевагою є висока ефективність у запобіганні утворенню відкладень карбонату кальцію (CaCO_3), гідроксиду магнію ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) та сульфату барію (BaSO_4). Порівняно з поліфосфатами, фосфонати демонструють вищу ефективність щодо інгібування утворення осадів, особливо в умовах високої жорсткості води [5].

Полікарбоксилати – це низькомолекулярні поліелектроліти з карбоксильними функціональними групами ($-\text{COOH}$). Вони можуть бути представлені як гомополімерами, так і сополімерами акрилової та малеїнової кислот. Ефективність полікарбоксилатів залежить від їх молекулярної маси, кількості карбоксильних груп та їх просторового розташування. Завдяки цим властивостям, полікарбоксилати ефективно запобігають утворенню різних типів осадів та підвищують стабільність води [6].

У ході досліджень [7] було вивчено ефективність антискаланту РТ-110 у природній воді з річки Десна при температурі 80 °С. Було встановлено, що при дозуванні антискаланту в кількості 2,5–7,5 мг/дм³ стабілізаційний ефект зростає від 16,67 % до 23,3 %. Це свідчить про те, що підвищення концентрації антискаланту дозволяє значно покращити його протинакипну дію (рис. 1.1).

Однією з основних переваг антискалантів є низький рівень дозування, необхідний для досягнення високих показників стабілізації, що робить їх економічно ефективними. Крім того, застосування антискалантів дозволяє знизити ризики

корозії, підвищити термін служби обладнання та покращити якість води [8]. Таким чином, антискаланти відіграють важливу роль у сучасних технологіях стабілізаційної обробки води. Їх використання є ключовим фактором у запобіганні утворенню накипу та збереженні ефективності роботи обладнання.

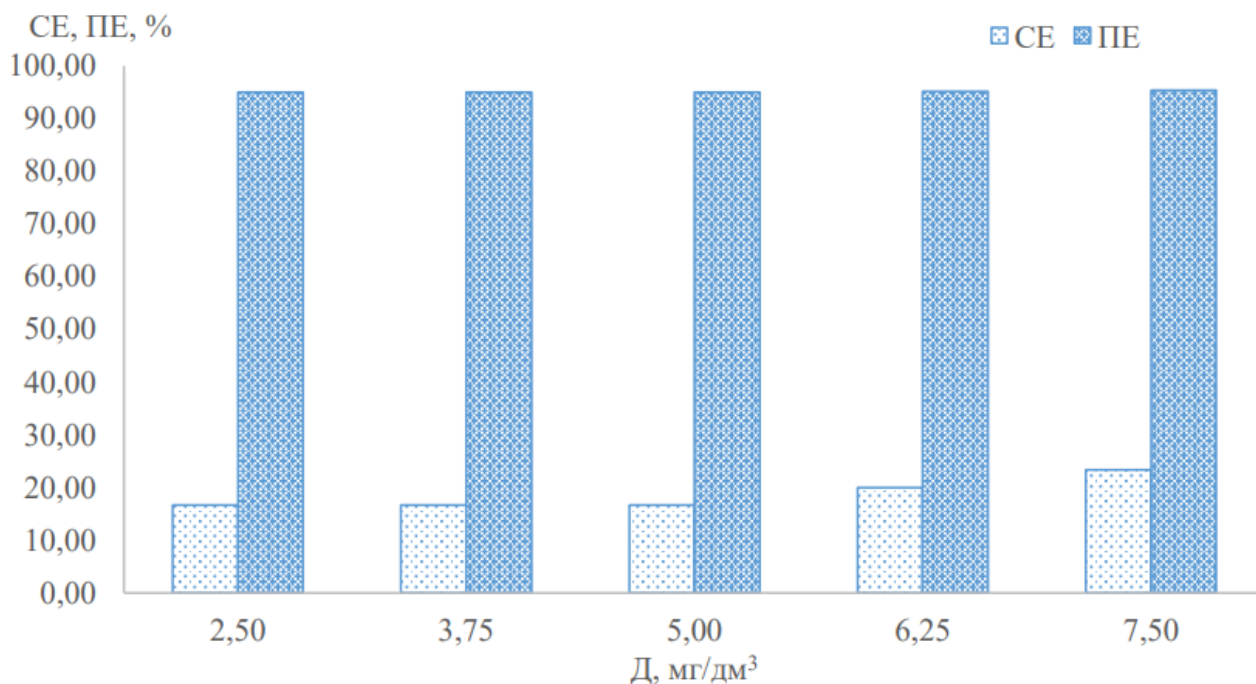


Рисунок 1.1 – Вплив дози антискалantu РТ-110 при 80 °С на стабільність природної води з р. Десна при Ж = 5,0 мг-екв/дм³ (t = 2,0 год)

Основні реагентні методи стабілізації води

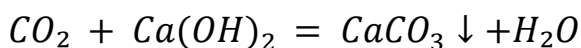
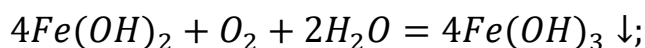
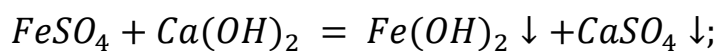
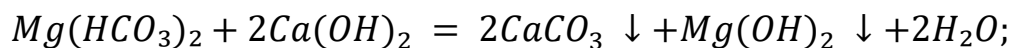
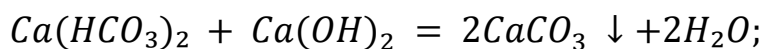
Застосування реагентів для осадження іонів кальцію та магнію. Одним з найефективніших способів видалення жорсткості води є додавання у воду хімічних реагентів, які викликають осадження іонів кальцію та магнію у вигляді нерозчинних сполук. Зазвичай для цієї мети використовуються такі реагенти, як вапно (Ca(OH)_2) та сода (Na_2CO_3). При додаванні соди у воду відбувається хімічна реакція з утворенням карбонату кальцію (CaCO_3), який випадає в осад. Цей метод є ефективним для видалення як тимчасової, так і частково постійної жорсткості води. Тимчасова жорсткість викликана присутністю гідрокарбонатів кальцію та магнію, які можуть бути видалені за допомогою нагрівання або додавання реагентів.

Постійна жорсткість обумовлена наявністю сульфатів, хлоридів та нітратів кальцію і магнію, і її усунення потребує більш складних хімічних методів. Використання реагентів для осадження іонів жорсткості є простим та економічно вигідним методом, однак він вимагає утилізації утворених осадів, що може створювати додаткові проблеми з відходами.

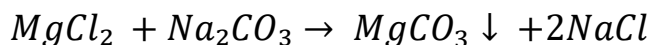
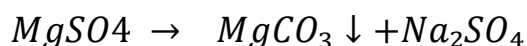
Комплексоутворюючі реагенти. Комплексоутворюючі реагенти є ще одним поширеним методом боротьби з жорсткістю води. Ці речовини здатні утворювати з іонами кальцію та магнію стабільні розчинні комплекси, що запобігає утворенню нерозчинних осадів і знижує ризик утворення накипу на поверхнях обладнання [9]. До найпоширеніших комплексоутворюючих реагентів належать поліфосфати, які активно зв'язують іони жорсткості. Поліфосфати утворюють міцні зв'язки з іонами жорсткості, що робить їх ефективним засобом запобігання утворенню накипу у системах водопостачання. Проте застосування комплексоутворюючих реагентів вимагає ретельного контролю дозування, оскільки надлишок поліфосфатів може призводити до забруднення води та негативного впливу на екологію. Крім того, з часом ці речовини можуть розкладатися та втрачати свою ефективність, що потребує регулярного оновлення реагентів у системі [10].

Обробка коагулянтами. Обробка води коагулянтами є одним з методів, який сприяє видаленню дрібнодисперсних часток та колоїдних домішок з води [11]. У процесі коагуляції використовуються речовини, такі як алюмінієвий сульфат ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) або залізний сульфат ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), які викликають агрегацію дрібних часток у більші флокuli, що легко видаляються з води шляхом фільтрації або осадження. Коагулянти взаємодіють з іонами кальцію та магнію, сприяючи їх осадженню та видаленню з води. Цей метод є особливо ефективним для видалення важкорозчинних солей та суспендованих часток з води. Обробка коагулянтами широко застосовується у системах централізованого водопостачання для підготовки питної води, а також у промислових процесах, де необхідна висока якість води. Проте важливо враховувати, що надлишок коагулянтів може призводити до утворення вторинних забруднень та необхідності додаткового очищення води від залишкових реагентів [12].

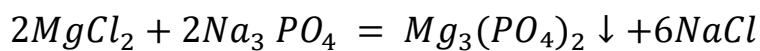
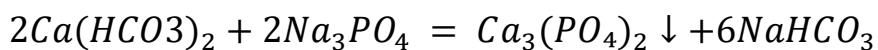
Обробка води гашеним вапном для усунення карбонатної (тимчасової) твердості, видалення іонів заліза і зв'язування CO_2 [13]:



Обробка води кальцинованою содою для усунення не карбонатної (постійної) твердості [14]:



Обробка води тринатрийфосфатом для більш повного осадження катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} (розчинність фосфатів кальцію і магнію мізерно мала, що забезпечує високу ефективність фосфатного метода) [15]:



Реагентні методи стабілізації води мають широке застосування завдяки їх ефективності у зменшенні як тимчасової, так і постійної твердості. Проте, їх

використання потребує врахування екологічних аспектів, зокрема щодо утилізації утворених осадів, а також економічної доцільності. Сучасні дослідження спрямовані на вдосконалення реагентних технологій та розробку нових, більш екологічних і енергоефективних підходів до стабілізації води.

1.2. Обробка води постійним магнітним полем

Магнітна обробка води є одним із перспективних і екологічно безпечних методів стабілізаційної обробки води, що широко застосовується у побутових і промислових умовах. Ця технологія заснована на впливі постійного магнітного поля або електромагнітного поля на розчинені у воді солі та суспендовані домішки, які визначають її жорсткість і схильність до утворення накипу [16].

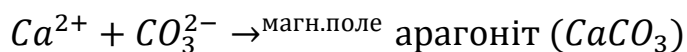
Механізм впливу магнітного поля на воду залишається предметом наукових досліджень і має кілька основних гіпотез, що пояснюють фізико-хімічні зміни у водному середовищі. При дії магнітного поля на воду та її домішки спостерігаються такі явища [17]:

Зміна структури кристалів солей. Одним із найважливіших ефектів магнітної обробки води є трансформація структури кристалів солей, зокрема карбонату кальцію (CaCO_3). Під дією магнітного поля відбувається перехід із звичайної модифікації кальциту в арагоніт — кристалічну форму, яка має іншу морфологію та властивості. Арагоніт характеризується меншою розмірністю кристалів та дрібнодисперсною структурою [18].

Характеристики арагоніту:

Середній розмір частинок після магнітної обробки складає менше ніж 1 мкм у понад 70 % випадків [19].

Розрахунок об'єму осаду на одиницю маси вихідного CaCO_3 показує, що механізм такого переходу пояснюється зменшенням енергії активації для формування арагонітових структур у присутності магнітного поля. Це знижує ризик утворення твердого осаду (накипу) на теплообмінниках/ водою [20].



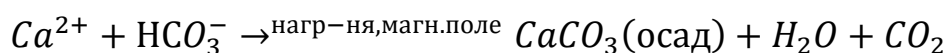
Зменшення гідратації іонів. Гідратаційна оболонка, яка утворюється навколо іонів кальцію (Ca^{2+}) і магнію (Mg^{2+}), значно впливає на їх поведінку у водному середовищі. Магнітне поле впливає на ці оболонки, зменшуючи кількість молекул води, які оточують іони. Це сприяє їх зближенню і подальшому утворенню кристалів солей у водній фазі, а не на поверхнях обладнання [21].

Експериментальні дані:

Товщина гідратаційної оболонки після магнітної обробки знижується, що сприяє кристалізації у водній фазі.

Осад, який утворюється у системі після обробки, легко видаляється шляхом механічної або хімічної промивки, що зменшує витрати на обслуговування [22].

Реакція утворення осаду виглядає так:



Поляризаційні ефекти та утворення центрів кристалізації. Під дією магнітного поля відбувається поляризація молекул води, що викликає деформацію та зміщення електронних оболонок іонів. Це створює сприятливі умови для формування центрів кристалізації, які є точками зародження твердих фаз у водному середовищі [23].

Механізм процесу:

- Поляризовані молекули води та іони кальцію утворюють агрегати, що слугують ядрами для росту кристалів.
- Осад у вигляді дрібнодисперсних часток утворюється у воді, а не на поверхнях теплообмінників або трубопроводів.

Формування центрів кристалізації описується рівнянням:

$$\Delta G = \Delta G_0 + 4\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v ,$$

де ΔG — зміна вільної енергії, γ — поверхневий натяг, r — радіус центру кристалізації, ΔG_v — об'ємна енергія.

Під дією магнітного поля ΔG_0 знижується, сприяючи утворенню більшої кількості центрів.

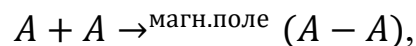
Вплив на колоїдні домішки. Магнітне поле також впливає на колоїдні частки, які присутні у воді. Воно змінює їхній електричний заряд та взаємодію між частками, сприяючи їх агрегації. В результаті утворюються більші агрегати, які легше видаляються механічним шляхом або шляхом осадження [24].

Характеристики процесу:

Частки з розміром до 0,5 мкм після обробки збільшуються до 5-10 мкм [25].

Зміна заряду часток сприяє їх агрегації та формуванню осаду, який видаляється на 80-90 % ефективніше.

Агрегація часток може бути описана рівнянням:



де A — частка, $(A-A)$ — агрегат.

Магнітна обробка води є інноваційною технологією, яка має значні **переваги** у порівнянні з традиційними методами очищення та підготовки води. Серед основних переваг виділяють екологічність, енергоефективність та простоту експлуатації, що робить цей метод привабливим для широкого спектра застосувань у побуті та промисловості [26].

Однією з ключових переваг магнітної обробки води є її екологічність. Технологія заснована на використанні магнітного поля для зміни фізико-хімічних властивостей води, що не потребує додавання хімічних реагентів або інших додаткових матеріалів. Це значно знижує ризик вторинного забруднення водних ресурсів та утворення токсичних відходів. Традиційні методи обробки води часто

передбачають використання агресивних хімічних речовин, які можуть негативно впливати на довкілля та здоров'я людини. Магнітна обробка води дозволяє уникнути цих проблем, забезпечуючи безпечне та екологічно чисте рішення для покращення якості води.

Ще однією вагомою перевагою магнітної обробки води є її енергоефективність. Сучасні системи для магнітної обробки води споживають мінімальну кількість електроенергії або взагалі є енергонезалежними у випадку використання постійних магнітів. На відміну від інших методів водопідготовки, таких як термічна обробка або хімічна нейтралізація, магнітні системи не потребують великих енергетичних витрат, що робить їх економічно вигідними та екологічно стійкими. Зниження енергоспоживання сприяє скороченню операційних витрат та зменшенню вуглецевого сліду підприємств, які використовують цю технологію [27].

Простота експлуатації є ще одним важливим фактором, що робить магнітну обробку води популярною у різних сферах. Системи магнітної обробки води характеризуються компактністю та простотою встановлення. Вони не потребують складного технічного обслуговування або спеціальних знань для їх експлуатації. Завдяки цьому такі системи можуть використовуватися як у побутових умовах, так і на промислових об'єктах, що значно розширює спектр їх застосування. Крім того, відсутність необхідності заміни хімічних реагентів або фільтрувальних елементів знижує витрати на обслуговування та забезпечує безперебійну роботу обладнання протягом тривалого часу.

Таким чином, магнітна обробка води є сучасним та ефективним методом, який поєднує екологічність, енергоефективність та зручність у використанні. Ця технологія має великий потенціал для подальшого розвитку та впровадження у різних галузях промисловості, включаючи системи водопостачання, опалення, сільське господарство та харчову промисловість. Поглиблене наукове дослідження та вдосконалення пристроїв для магнітної обробки води сприятиме розширенню сфери їх застосування та підвищенню ефективності у майбутньому.

Попри значні переваги, магнітна обробка води має і певні обмеження, які необхідно враховувати під час впровадження цієї технології у різних сферах. Ефективність впливу магнітного поля на воду залежить від низки факторів, які можуть як посилювати, так і знижувати результативність процесу. До основних факторів, що впливають на ефективність магнітної обробки води, належать хімічний склад води, швидкість потоку та температурний режим [28].

Перш за все, хімічний склад води відіграє важливу роль у визначенні ефективності магнітної обробки. Вода з високим вмістом органічних речовин, заліза або інших розчинених мінералів може знижувати ефективність впливу магнітного поля. Зокрема, присутність органічних сполук може створювати захисні оболонки навколо іонів кальцію та магнію, перешкоджаючи їх взаємодії з магнітним полем. Аналогічно, залізо у воді може утворювати нерозчинні осади, що знижує ефективність обробки та може призводити до утворення відкладень на поверхнях магнітних пристроїв. Тому перед впровадженням магнітної обробки важливо провести аналіз хімічного складу води та за необхідності здійснити попереднє очищення від надлишкових домішок.

Швидкість потоку води через апарати магнітної обробки є ще одним критично важливим фактором. Оптимальний ефект досягається, коли вода рухається перпендикулярно до силових ліній магнітного поля. Якщо швидкість потоку є занадто високою, вода може не встигати зазнати достатнього впливу магнітного поля, що знижує ефективність процесу. З іншого боку, надто повільний потік може призводити до нерівномірного впливу магнітного поля, що також негативно впливає на кінцевий результат. Тому необхідно забезпечити оптимальні умови для проходження води через пристрій, враховуючи специфікації апарату та особливості конкретної системи водопостачання [29].

Температурний режим води також впливає на результативність магнітної обробки. У більшості випадків оптимальна ефективність досягається при кімнатній температурі або при температурах, близьких до природних умов. Однак при підвищенні температури ефективність магнітної обробки може знижуватися через зміну фізико-хімічних властивостей води та зниження здатності магнітного поля

впливати на процеси кристалізації солей. Зокрема, при температурах, що перевищують 70-80 °С, спостерігається зниження здатності магнітного поля запобігати утворенню накипу. Це особливо важливо враховувати у промислових системах, де вода використовується для охолодження або нагрівання.

Таким чином, для забезпечення максимальної ефективності магнітної обробки води необхідно ретельно враховувати всі зазначені фактори та здійснювати попередню підготовку систем. Подальші наукові дослідження у цьому напрямку спрямовані на вдосконалення магнітних пристроїв та розробку методів оптимізації параметрів обробки води залежно від її складу та умов експлуатації.

Сучасні технології магнітної обробки води. Сучасні технології магнітної обробки води є важливим напрямом розвитку екологічно чистих та енергоефективних технологій, які дозволяють поліпшити якість води без застосування хімічних реагентів. Сьогодні існує кілька типів пристроїв для магнітної обробки води, які базуються на використанні постійних магнітів та електромагнітних систем. Кожен з цих типів має свої особливості, що визначає сфери їх практичного застосування [30].

Постійні магніти застосовуються переважно у побутових умовах завдяки їх простоті, надійності та відносно низькій вартості. Такі пристрої є компактними, енергонезалежними та не потребують спеціального обслуговування. Основний принцип їх дії полягає у впливі магнітного поля на розчинені у воді іони кальцію та магнію, що сприяє запобіганню утворенню накипу на поверхнях теплообмінного обладнання та водопровідних труб. В результаті знижується ризик корозії, підвищується енергоефективність систем та продовжується їхній експлуатаційний ресурс [31].

с є більш складними пристроями, які широко використовуються у промислових умовах. Основна перевага таких систем полягає у можливості регулювання параметрів магнітного поля, що дозволяє адаптувати їх до конкретних умов експлуатації. Це дає змогу забезпечити більш ефективну обробку великих обсягів води та досягти оптимальних результатів у запобіганні утворенню відкладень та зниженні негативного впливу жорсткої води на обладнання.

Електромагнітні системи активно використовуються у великих системах водопостачання, на промислових підприємствах та у сільському господарстві [32].

Приклади практичного застосування магнітної обробки води різноманітні та охоплюють широке коло галузей:

Системи опалення та водопостачання. У цих системах магнітна обробка води використовується для запобігання утворенню накипу на теплообмінниках, котлах та інших елементах обладнання. Це дозволяє знизити витрати на енергію, підвищити ефективність теплопередачі та зменшити частоту проведення технічного обслуговування [33].

Харчова промисловість. Магнітна обробка води застосовується для стабілізації технологічної води, що використовується у виробництві продуктів харчування та напоїв. Це сприяє підвищенню якості кінцевої продукції та зниженню ризику утворення відкладень у виробничих системах [34].

Сільське господарство. Використання магнітно обробленої води для зрошення дозволяє поліпшити властивості ґрунту та підвищити врожайність сільськогосподарських культур. Магнітна обробка сприяє зниженню засоленості ґрунтів та поліпшенню засвоєння рослинами поживних речовин [35].

Магнітна обробка води є перспективним напрямом наукових досліджень, оскільки механізми її впливу на молекулярному рівні ще повністю не розкриті. Подальше вдосконалення технологій потребує поглибленого вивчення фізико-хімічних процесів, що відбуваються під дією магнітного поля. Зокрема, важливо дослідити зміну структури води, вплив на швидкість кристалізації солей, а також довгострокові ефекти використання магнітно обробленої води у різних сферах. Наукові дослідження в цьому напрямку сприятимуть розробці нових, більш ефективних пристроїв та методів магнітної обробки води, що відповідатимуть вимогам сучасної промисловості та екології.

1.3. Обробка води перемінним магнітним полем

Одним із сучасних фізичних методів водоочищення є обробка води перемінним магнітним полем. Ця технологія здобула значний інтерес у водопідготовчій сфері завдяки своїм унікальним властивостям впливу на структуру води та розчинені в ній солі. Перемінне магнітне поле впливає на молекулярну структуру води, змінюючи її фізико-хімічні властивості, що сприяє зниженню жорсткості та запобіганню утворенню накипу [36].

Принцип дії перемінного магнітного поля на воду

Метод магнітної обробки води базується на використанні градієнтів напруженості магнітного поля для руйнування міжмолекулярних зв'язків у кластерних структурах води. При проходженні потоку води через зони із високими градієнтами напруженості магнітного поля відбувається [37]:

- **Реструктуризація водних кластерів.** Зміна розміру та форми кластерів сприяє підвищенню розчинності деяких речовин, а також ефективному видаленню органічних і неорганічних забруднень.
- **Зниження схильності до утворення накипу.** Магнітне поле впливає на іонні зв'язки в молекулах солей, зокрема кальцію (Ca^{2+}) та магнію (Mg^{2+}). Під його впливом іони втрачають здатність формувати стабільні кристалічні структури, що значно зменшує ймовірність утворення твердих відкладень на внутрішніх поверхнях трубопроводів та теплообмінників.

Змінне магнітне поле створюється пристроями, які генерують магнітні хвилі з різними частотами й інтенсивністю. Ефект Холла пояснює, що позитивний вплив магнітного поля можливий лише за наявності відносного переміщення води через зони з градієнтами напруженості магнітного поля. Важливо відзначити, що в однорідному магнітному полі взаємодія з водою відсутня, а для досягнення значущого ефекту необхідні саме значні градієнти індукції [38].

Математичний опис впливу магнітного поля на іони у воді:

$$F = q(E + v * B),$$

де F — сила, що діє на частинку; q — заряд частинки; E — напруженість електричного поля; v — швидкість частинки; B — вектор магнітної індукції.

У випадку відсутності електричного поля ($E=0$), сила Лоренца спрощується до:

$$F = q(v * B)$$

Ця сила змінює траєкторію руху іонів, впливаючи на їхню здатність утворювати кристалічні структури [39].

Економічні аспекти застосування магнітної обробки води

Економічна доцільність використання перемінного магнітного поля для водоочищення залежить від багатьох чинників, таких як масштаб системи водопостачання, обсяги споживання води, витрати на обладнання та енергію. У великих басейнах та аквапарках із значною кількістю відвідувачів інвестиції в магнітну обробку води можуть окупитися доволі швидко завдяки зменшенню витрат на ремонт та обслуговування обладнання [40].

Проте для басейнів із меншою кількістю відвідувачів або для новостворених об'єктів така технологія може виявитися економічно невиправданою. Висока вартість обладнання та короткотривалість ефекту можуть створити додаткові витрати, які не завжди виправдовуються збільшенням доходів від надання послуг. Таким чином, перед впровадженням магнітної обробки води необхідно проводити ретельний економічний аналіз, зважаючи на всі потенційні вигоди та ризики.

Порівняння з іншими методами водоочищення

Порівнюючи обробку води перемінним магнітним полем з іншими методами водоочищення, можна помітити певні закономірності. Зокрема, цей метод є менш затратним порівняно з реагентними методами, які потребують постійного додавання

хімічних речовин. Однак, за ефективністю очищення він може поступатися таким методам, як озонування або ультрафіолетове опромінення.

Реагентні методи водоочищення передбачають використання хімічних речовин для усунення забруднень та зниження жорсткості води. Найбільш поширеними реагентами є коагулянти, флокулянти, антисептики та інгібітори накипу. Основним недоліком цих методів є необхідність постійного поповнення запасів реагентів та утворення вторинних відходів у вигляді осадів і шламів [41].

Обробка води перемінним магнітним полем не потребує використання реагентів, що є екологічно безпечним та економічно вигідним рішенням. Водночас цей метод менш ефективний у видаленні органічних забруднень та патогенних мікроорганізмів, на що спрямовані хімічні методи очищення.

Ефективність магнітної обробки щодо зниження жорсткості води може сягати 60-80 %, тоді як використання реагентів забезпечує зниження до 90-95 %. Проте відсутність необхідності в закупівлі та зберіганні хімічних речовин робить магнітну обробку привабливішою для довготривалого використання в промисловості та побуті [42].

Порівняння з озонуванням

Озонування води є одним із найефективніших методів дезінфекції та усунення органічних забруднень. Озон (O_3) є потужним окислювачем, який руйнує клітинні мембрани патогенних мікроорганізмів та окислює органічні сполуки до нешкідливих компонентів. Основні переваги озонування: високий ступінь знезараження (до 99,99 %); ефективне видалення запахів та кольоровості води; швидка реакція озону з забруднювачами [43].

Проте озонування має і значні недоліки: процес генерування озону з повітря або кисню є енергоємним, що збільшує операційні витрати системи водоочищення; для озонування потрібні генератори озону та системи контролю дозування, що підвищує капітальні витрати; озон швидко розпадається у воді, тому оброблену воду необхідно використовувати практично відразу після очищення [44].

Обробка води перемінним магнітним полем не забезпечує дезінфекцію на рівні озонування, але значно виграє за енергозатратами. У середньому, витрати електроенергії на магнітну обробку становлять 0,01-0,05 кВт/год на кубічний метр води, тоді як для озонування цей показник може досягати 0,5-1 кВт/год [45].

Порівняння з ультрафіолетовим опроміненням

Ультрафіолетове (УФ) опромінення є ще одним із ефективних методів дезінфекції води, який дозволяє знищувати патогенні мікроорганізми, включаючи бактерії, віруси та найпростіші. Основний механізм дії УФ-обробки базується на поглинанні мікроорганізмами ультрафіолетового випромінювання з довжиною хвилі 254 нм. Це випромінювання спричиняє утворення в їх ДНК тимінових димерів — хімічних зв'язків між сусідніми молекулами тиміну, які перешкоджають нормальному реплікуванню ДНК, що призводить до загибелі мікроорганізмів або втрати здатності до розмноження.

На відміну від УФ-обробки, магнітна обробка води не має дезінфікуючого ефекту, але ефективно запобігає утворенню накипу та знижує жорсткість води. Основний принцип дії полягає у впливі перемінного магнітного поля на іони кальцію (Ca^{2+}) та магнію (Mg^{2+}), які є основними чинниками утворення накипу.

Під дією магнітного поля відбувається порушення структури сольових комплексів у воді. Іони кальцію та магнію утворюють дрібні аморфні частки карбонату кальцію (CaCO_3), які не осідають на поверхнях труб і обладнання, а залишаються у воді у вигляді суспензії [46].

Для оцінки економічної ефективності можна використати формулу розрахунку витрат на очищення 1 м³ води:

$$C_{\text{оч}} = \frac{C_{\text{обл}} + C_{\text{ен}}}{V},$$

де $C_{\text{оч}}$ — вартість очищення 1 м³ води (грн/м³), $C_{\text{обл}}$ — вартість обладнання (грн), $C_{\text{ен}}$ — вартість енергоспоживання (грн/рік), V — об'єм очищеної води за рік (м³).

Зазвичай вартість обладнання для магнітної обробки води в 3–5 разів нижча, ніж для УФ-систем. Проте УФ-обробка забезпечує знищення до 99,9 % патогенних мікроорганізмів, тоді як магнітна обробка спрямована лише на зменшення жорсткості та боротьбу з накипом [47].

Комплексний аналіз ефективності сучасних технологій водоочищення представлено у таблиці 1.1 [48].

Таблиця 1.1 — Комплексний аналіз ефективності сучасних технологій водоочищення

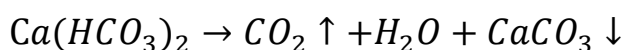
№	Технології водоочищення	Витрати на очищення В, грн/дм ³	Витрати на утилізацію З, грн/дм ³	Тривалість зберігання очищеної води Т, діб	Ступінь очищення к, %	Коефіцієнт небезпеки для здоров'я, к	Показник ефективності очищення води, К _{еф} , %
Фізико-хімічні методи							
1	Озонування	10	-	4	0,99	1,1	36
Реагентні методи							
1	Хлорування	5	1	4	0,85	5	11,3
2	Пероксид водню	7	0,5	4	0,9	2	24
Фізичні методи							
1	Перемінне магнітне поле	10	-	12-24	0,8	-	60

1.4. Інші методи стабілізаційної обробки води

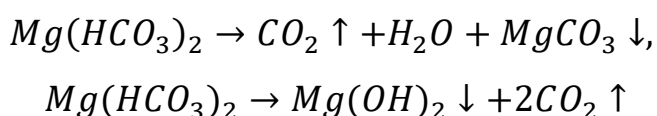
Термічний метод

Термічний метод пом'якшення води є одним із найстаріших та найпоширеніших способів зниження її карбонатної жорсткості. Його основою є хімічні та фізичні процеси, які відбуваються при нагріванні, дистиляції або виморожуванні води. Цей метод широко застосовується у промисловості та побуті завдяки його відносній простоті та доступності [49].

Термічне пом'якшення базується на хімічних реакціях, які відбуваються при нагріванні води. У процесі нагрівання розчинена у воді карбонатна кислота (H_2CO_3) розкладається на вуглекислий газ (CO_2) і воду (H_2O). Це призводить до зміщення рівноваги у бік утворення нерозчинних карбонатів, зокрема карбонату кальцію (CaCO_3), який випадає в осад [50]:



Подібний механізм відбувається для гідрокарбонату магнію ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). У цьому випадку спочатку утворюється розчинний карбонат магнію (MgCO_3), який при тривалому кип'ятінні далі гідролізується, утворюючи малорозчинний гідроксид магнію ($\text{Mg}(\text{OH})_2$):



Розчинність гідрокарбонату магнію значно вища порівняно з карбонатом кальцію (110 мг/дм³ при 18 °C), проте утворений гідроксид магнію має дуже низьку розчинність (8,4 мг/дм³) [51].

При нагріванні води відбуваються такі основні зміни в її хімічному складі:

- Зменшується концентрація вільної вуглекислоти через виділення CO_2 у газову фазу.
- Вміст гідрокарбонатів (HCO_3^-) у воді знижується через їх перетворення на карбонати (CO_3^{2-}) або гідроксиди (OH^-).
- Формуються малорозчинні сполуки, які випадають в осад, зокрема CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Ефективність кип'ятіння для зниження карбонатної твердості

Кип'ятіння води є ефективним методом зниження твердості, обумовленої наявністю гідрокарбонатів кальцію та магнію. Підвищення температури викликає випадання осадів у формі карбонату кальцію та гідроксиду магнію, що дозволяє

суттєво зменшити вміст цих сполук у воді. Проте, як зазначено вище, цей метод не дозволяє повністю усунути карбонатну твердість через незначну, але все ж наявну, розчинність осаджених сполук [52].

Переваги та обмеження методу

Основною перевагою методу кип'ятіння є його простота та доступність. Водночас недоліком є неможливість повного видалення карбонатної твердості, а також потреба у великій кількості енергії для нагрівання води. Крім того, метод неефективний для видалення некарбонатної твердості, обумовленої наявністю сульфатів, хлоридів та інших сполук [53].

Для оцінки зменшення жорсткості води під час нагрівання можна використовувати кінетичні рівняння утворення осаду. Наприклад, для карбонату кальцію рівняння може мати вигляд [54]:

$$r = k \cdot [Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^-]^2,$$

де r — швидкість утворення осаду; k — константа швидкості, яка залежить від температури; $[Ca^{2+}]$ та $[HCO_3^-]$ — концентрації іонів кальцію та гідрокарбонату.

Експериментальні дослідження показують, що збільшення температури на кожні 10 °C прискорює процес випадання осаду приблизно вдвічі.

Термічний метод широко використовується у теплових електростанціях для підготовки води для котлів, харчовій промисловості для очищення води перед використанням у технологічних процесах, побутових умовах для зменшення утворення накипу в чайниках і нагрівальних пристроях [55].

Комбінований реагентно-термічний метод є ефективним способом пом'якшення води, що поєднує хімічні реакції з процесами нагрівання. Його застосування забезпечує не лише зниження жорсткості води, але й зменшення витрат реагентів, а також підвищення швидкості і якості осадження нерозчинних сполук. Цей метод використовується переважно для підготовки води в промислових

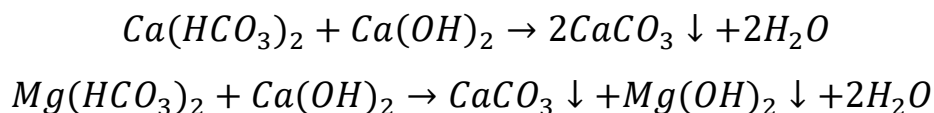
системах, зокрема для живлення парових котлів, де теплота нагрівання раціонально інтегрується в технологічний процес.

Комбінований реагентно-термічний метод

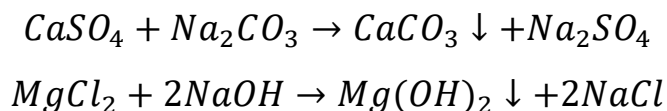
Комбінований реагентно-термічний метод є ефективним способом пом'якшення води, що поєднує хімічні реакції з процесами нагрівання. Його застосування забезпечує не лише зниження жорсткості води, але й зменшення витрат реагентів, а також підвищення швидкості і якості осадження нерозчинних сполук. Цей метод використовується переважно для підготовки води в промислових системах, зокрема для живлення парових котлів, де теплота нагрівання раціонально інтегрується в технологічний процес.

Процес пом'якшення ґрунтується на взаємодії реагентів із солями жорсткості та додаткових ефектах, зумовлених підвищенням температури води. Основні хімічні реакції включають:

Взаємодія вапна з гідрокарбонатами кальцію і магнію:

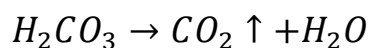


Реакція соди з солями жорсткості:



Вплив нагрівання

При підвищенні температури понад 100 °С з води видаляється розчинений вуглекислий газ (CO₂), що зміщує рівновагу в бік утворення нерозчинних карбонатів [56]:



Комбінований метод дозволяє зменшити кількість використовуваних реагентів. Наприклад, видалення CO_2 перед введенням вапна зменшує необхідну кількість цього реагенту для досягнення заданого ступеня пом'якшення. За експериментальними даними, витрати вапна знижуються на 10–15 %, що є значним економічним чинником у промислових масштабах.

Крім того, нагрівання води знижує розчинність солей жорсткості ($CaCO_3$ і $Mg(OH)_2$), що підвищує швидкість утворення осаду та покращує його структуру. Утворений осад має високу щільність, тому додаткове застосування коагулянтів часто стає непотрібним.

Осади, що утворюються під час комбінованого методу мають наступні властивості:

- Утворюються пластівці розміром від 10 до 50 мкм, що дозволяє легко видаляти їх механічними засобами.
- Осад із карбонатів і гідроксидів має щільність близько 2,5–3,0 г/см³, що забезпечує швидке осідання.
- Швидкість осадження підвищується на 20–30 % при температурі вище 100 °С.

Для оцінки витрат вапна для видалення гідрокарбонатів використовують наступну формулу [57]:

$$m_{Ca(OH)_2} = \frac{M_{Ca(OH)_2}}{M_{Ca(HCO_3)_2}} \cdot C_{Ca(HCO_3)_2} \cdot V,$$

де $M_{Ca(OH)_2}$ і $M_{Ca(HCO_3)_2}$ молярні маси реагенту та солі, $C_{Ca(HCO_3)_2}$ — концентрація гідрокарбонатів (мг/л), V — об'єм води (м³).

Комбінований метод використовується виключно для підготовки води для парових котлів високого тиску, де важливе значення має мінімізація жорсткості. Завдяки інтеграції цього методу в процес генерації пари, досягається висока енергоефективність [58].

Пом'якшення води діалізом

Діаліз — це фізико-хімічний метод поділу речовин, які значно відрізняються молекулярними масами. Він ґрунтується на різних швидкостях дифузії молекул через напівпроникну мембрану, яка розділяє концентрований і розведений розчини. Цей метод активно використовується у водопідготовці, медицині (зокрема, для гемодіалізу) та хімічній технології [59].

Процес діалізу базується на явищі дифузії, де розчинені молекули переміщуються через мембрану з області високої концентрації до області низької концентрації. Закон, який описує швидкість дифузії, можна виразити рівнянням Фіка:

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x},$$

де J — потік речовини через мембрану (моль/м²·с), D — коефіцієнт дифузії (м²/с), $\frac{\partial C}{\partial x}$ — градієнт концентрації речовини (моль/м³·м).

Основними характеристиками, які визначають ефективність напівпроникної мембрани, є телективність (S), яка характеризує здатність мембрани розділяти молекули різного розміру та водопроникність (P), що визначає кількість води, яка може пройти через мембрану за одиницю часу [60]:

$$P = \frac{J_w}{\Delta P},$$

де J_w — потік води через мембрану (м³/м²·с), ΔP — перепад тиску через мембрану (Па).

У сучасних мембранних технологіях важливо, щоб значення S та P залишалися стабільними протягом тривалого часу експлуатації.

Для пом'якшення води діаліз використовується для видалення іонів кальцію (Ca^{2+}) та магнію (Mg^{2+}), які є основними компонентами жорсткості. Молекули солей,

такі як CaCl_2 або MgSO_4 , проходять через мембрану значно повільніше, ніж молекули води, що дозволяє ефективно зменшувати їх концентрацію [61].

Діалізні системи для пом'якшення води демонструють такі результати [62]:

- Зниження жорсткості води на 90–95 % залежно від початкової концентрації іонів.
- Продуктивність мембран становить близько 20–50 л/м²·год при тиску до 1,5 бар.
- Тривалість роботи мембрани без заміни — до 2 років при правильному обслуговуванні.

1.5. Апаратура та обладнання для стабілізаційної обробки води

Стабілізаційна обробка води є ключовим етапом у забезпеченні її якості для господарсько-питних і технологічних потреб. Цей процес полягає у формуванні захисної карбонатної плівки на внутрішніх поверхнях трубопроводів, що попереджає корозію та відкладення нерозчинних сполук. Ефективність стабілізації залежить від вибору технології та обладнання, які враховують специфіку вихідної води, її агресивність і продуктивність водозабору [63].

Наразі виділені наступні методи стабілізації при від'ємному індексі Ланжельє: підключення води вапном або содою, фільтрування через мармурову крихту, видалення надлишкового CO_2 на вентиляторних градирнях [64].

Основою технології є поступове введення лужного реагенту, наприклад, вапняного молока, для забезпечення оптимального індексу насичення. Типова схема включає елементи, що зображені на рис. 1.2 [65]:

- Розчинні баки:

Резервуари призначені для приготування концентрованого розчину вапняного молока, який використовується як реагент для стабілізаційної обробки води. Виготовлення з нержавіючої сталі забезпечує їхню стійкість до корозії та тривалий термін експлуатації навіть у складних умовах. Конічне днище бака запобігає осіданню нерозчинених частинок на дно, що забезпечує рівномірність концентрації

розчину в процесі експлуатації. Така конструкція також полегшує очищення бака після використання.

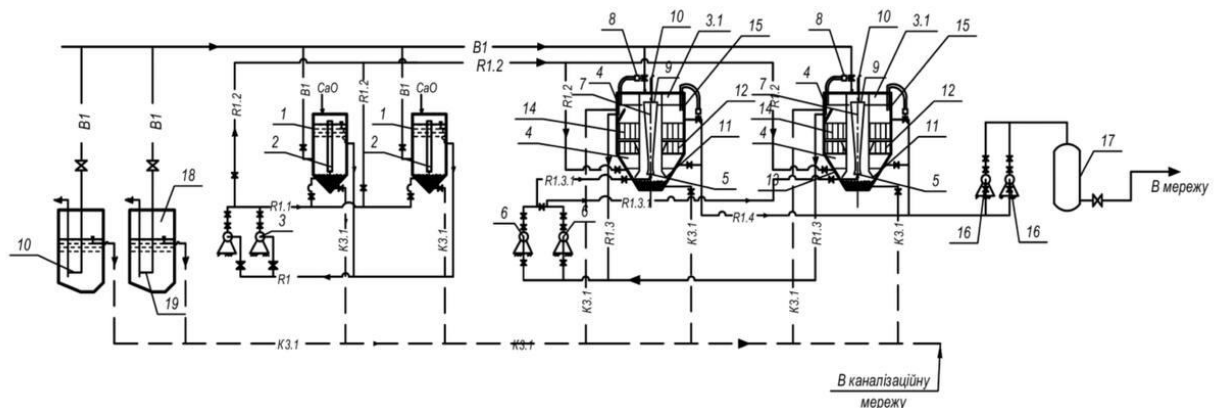


Рисунок 1.2 – Технологічна схема вузла стабілізаційної обробки води: 1 – розчинні баки; 2 – гідравлічні мішалки; 3 – циркуляційні насоси розчинних баків; 4 – освітлювачі-рециркулятори; 5 – водоструминний насос; 6 – насоси для рециркуляції робочого розчину; 7 – вертикальний вихровий змішувач; 8 – подача вихідної води; 9 – повітрявідділювач; 10 - скид надлишкового повітря; 11 - система розподільчих труб; 12, 14 – блоки тонкошарових відстійників; 13 – зона накопичення осаду; 15 - ємкість освітленого розчину; 16 – насоси-дозатори; 17 – освітлювальний фільтр; 18 – шламові збірники; 19 – гідроелеватори

- Гідравлічні мішалки:

Пристрої використовуються для підтримки однорідності розчину вапняного молока в баках. Завдяки їхній роботі запобігається утворення осаду карбонату кальцію, який може знижувати ефективність процесу. Мішалки забезпечують інтенсивне і рівномірне перемішування, що сприяє стабільності хімічних процесів і зменшує втрати реагенту.

- Освітлювачі-рециркулятори:

Обладнання відіграє ключову роль у насиченні води іонами кальцію (Ca^{2+}) і розділенні фаз (рідка – тверда). Освітлювачі оснащені спеціальними тонкошаровими відстійниками, які збільшують ефективність процесу осадження дрібних часток. Завдяки цьому досягається висока якість освітленої води, що є важливим для подальших етапів водопідготовки. Рециркуляція також дозволяє економити реагенти та зменшувати кількість відходів.

- Системи дозування:

Насоси-дозатори забезпечують точне введення реагентів у напірні водоводи. Їхня робота контролюється автоматичними регуляторами рН, що дозволяє оперативно реагувати на зміни хімічного складу води та підтримувати оптимальні умови процесу. Точність дозування знижує перевитрати реагентів і підвищує економічну ефективність роботи установки.

- **Шламосбірники:**

Пристрої використовуються для збору осаду, який утворюється в результаті процесу стабілізаційної обробки. Шламосбірники забезпечують ефективне видалення осаду з системи, що зменшує ризик засмічення обладнання. Додатково вони спрощують утилізацію твердих відходів, знижуючи негативний вплив на довкілля. Це обладнання разом забезпечує повний цикл обробки води, що включає приготування, дозування, рециркуляцію і утилізацію, дозволяючи досягти стабільного результату та покращення якості води.

Особливості роботи обладнання

1. Завантаження та приготування розчину. Процес розпочинається із завантаження вапна до розчинних баків, які виготовляються з нержавіючої сталі для забезпечення довговічності та стійкості до корозії. Баки оснащені спеціальною системою для приготування концентрованого розчину вапняного молока з концентрацією $\text{Ca}(\text{OH})_2$ близько 5 %. Вода додається до бака у відповідній пропорції для створення потрібного розчину. Для запобігання осіданню нерозчинених частинок використовуються гідравлічні мішалки, які забезпечують інтенсивність перемішування, достатню для повного обміну вмісту бака 5–6 разів на годину. Такий підхід забезпечує однорідність концентрації розчину, попереджає утворення осаду та сприяє стабільності хімічних реакцій.

2. Освітлення розчину. Після початкового перемішування освітлений розчин транспортується до освітлювачів-рециркуляторів, які виконують функцію остаточного насичення розчину іонами кальцію (Ca^{2+}). У цих пристроях розчин проходить через тонкошарові відстійники, що сприяють ефективному відділенню

осаду карбонату кальцію та інших домішок. Така технологія дозволяє отримати високоякісний розчин із мінімальним вмістом твердих часток. Крім того, цей етап сприяє економному використанню хімічних реагентів, оскільки вони додаються у строго контрольованих кількостях.

3. Дозування та транспортування розчину. Освітлений розчин подається до трубопровідної системи за допомогою насосів-дозаторів. Насоси забезпечують точне дозування реагенту відповідно до технологічних вимог, що дозволяє досягати необхідного рівня стабілізації води. Для мінімізації енергетичних втрат у системі застосовуються високоефективні сучасні насоси, наприклад, Grundfos SE1.50.80. Ці насоси відрізняються надійністю, здатністю створювати необхідний тиск і витрату навіть у складних умовах експлуатації. Вони також сприяють зниженню експлуатаційних витрат завдяки енергоефективності.

4. Використання додаткових технологій у високопродуктивних системах. У системах із великою продуктивністю можуть додатково використовуватися сатуратори подвійного насичення або додаткові гідравлічні мішалки. Сатуратори створюють оптимальні умови для насичення розчину в умовах високих потоків, що дозволяє забезпечити його однорідність та стабільність. Гідравлічні мішалки, у свою чергу, додатково покращують перемішування розчину, забезпечуючи рівномірний розподіл компонентів у великих об'ємах.

Ефективність стабілізаційної обробки

Дослідження, проведені на водозаборі "Південний" у м. Нововолинськ у 2008 році, мали на меті оцінити ефективність процесу стабілізації води та його вплив на якісні показники питної води [66]. Отримані результати продемонстрували значні переваги технології стабілізації, яка забезпечує підвищення рівня кальцієвих іонів, загального солевмісту та стабільність показника рН [67].

Підвищення концентрації іонів кальцію (Ca^{2+})

Одним із ключових показників, що характеризують стабілізацію води, є підвищення концентрації іонів кальцію до 105–134 мг/дм³. Такі зміни позитивно впливають на якість води з кількох причин:

Формування карбонатної плівки. Іони кальцію вступають у реакцію з гідрокарбонатами, утворюючи карбонат кальцію (CaCO₃), який відкладається на внутрішніх поверхнях трубопроводів у вигляді захисної плівки. Ця плівка мінімізує контакт металевих поверхонь із водою, знижуючи корозію трубопроводів і продовжуючи їхній термін експлуатації.

Підвищення фізіологічної якості води. Вода, збагачена кальцієм, має позитивний вплив на здоров'я людини, сприяючи зміцненню кісткової тканини та нормалізації роботи серцево-судинної системи.

Збільшення загального солевмісту

Стабілізація води сприяла підвищенню загального солевмісту до рівня 460–518 мг/дм³. Це забезпечує кілька переваг:

Поліпшення органолептичних властивостей. Помірне підвищення солевмісту позитивно впливає на смакові властивості води, роблячи її більш приємною для споживання.

Відповідність санітарним нормам. Збільшення солевмісту знаходиться в межах, які регламентуються державними стандартами для питної води (ДСанПіН), і відповідає вимогам безпеки.

Підвищення рівня рН

Після стабілізації рівень рН води зріс на 0,1–0,2 одиниці. Це підвищення має важливе значення для забезпечення стабільності води у трубопроводах:

1. Сприяння карбонатній рівновазі. Легке підвищення рН сприяє перенасиченню розчину карбонатами кальцію, що забезпечує формування захисної плівки на стінках труб.
2. Зменшення корозії. Вода із вищим рівнем рН менш агресивна до металевих трубопроводів, що запобігає їх руйнуванню.

Технологічні переваги

Отримані дані підтверджують ефективність технології стабілізації води на водозаборі "Південний". Застосування цієї методики забезпечує:

1. Захист трубопроводів. Формування карбонатної плівки зменшує витрати на обслуговування та заміну комунікацій.
2. Стабільність водопостачання. Мінімізація корозії та відкладень у трубах сприяє забезпеченню постійного тиску та якісної подачі води до споживачів.

Термічний метод зм'якшення базується на нагріванні води до певних температур, за яких розчинність деяких солей, що спричиняють твердість води (кальцію і магнію), суттєво знижується. Наприклад, при кип'ятінні розчинність сульфату кальцію знижується до 0,65 г/дм³ при температурі 100 °С. У процесі нагрівання солі випадають в осад, що сприяє зменшенню загальної жорсткості води [68].

Для реалізації цього методу використовуються різні види апаратури, які забезпечують нагрівання води та видалення осаду.

Одним із таких апаратів є підігрівач змішуючого типу (рис. 1.3), що являє собою металеву ємність із перегородками. Оброблювана вода подається до підігрівача одночасно з парою через пароструминні сопла, де пара безпосередньо змішується з водою, забезпечуючи рівномірний нагрів. Перегородки сприяють оптимальному контакту води з парою, а пароструминні сопла створюють рівномірний розподіл тепла по всьому об'єму води [69].

Підігрівачі цього типу вирізняються простотою конструкції та високою швидкістю нагрівання, однак залежать від якості пари, що подається, і потребують регулярного видалення осаду.

Іншим поширеним апаратом є каскадний підігрівач (рис.1.4), що має вигляд вертикальної колонки з дірчастими перегородками-тарілками, через які вода стікає зверху донизу, тоді як пара піднімається знизу догори. Перфоровані тарілки забезпечують багатократне контактування води та пари, сприяючи ефективному теплообміну, а паралельно з нагріванням відбувається часткове видалення газів,

таких як вуглекислота і кисень. Цей апарат вирізняється високою ефективністю нагрівання та компактністю, хоча його обслуговування є складнішим, а тарілки потребують регулярного очищення.

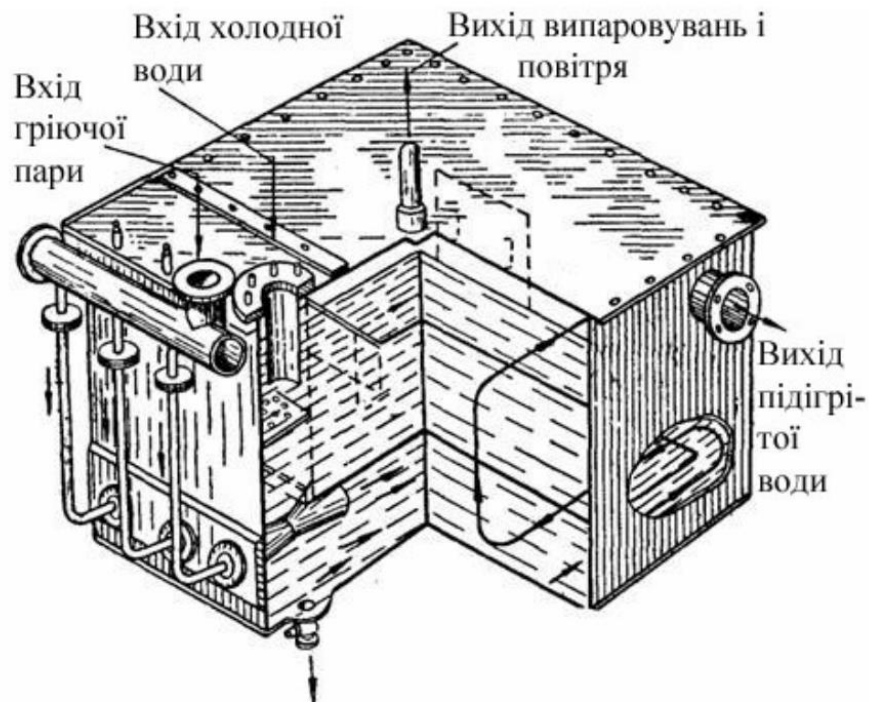


Рисунок 1.3 – Схема підігрівача змішуючого типу

Серед складніших конструкцій виділяється термозм'якшувач системи Коп'єва (рис. 1.5), що складається з трьох основних елементів: плівкового змішуючого підігрівача, освітлювача із завислим осадом та похилих сепараційних перегородок. У цьому апараті попередньо підігріта вода подається через ежектор на розпилювальний пристрій плівкового підігрівача, де розбризкується і стікає по вертикальних трубах, контактує з парою, яка піднімається назустріч. Після цього вода через центральну трубу потрапляє до освітлювача, в якому осаджуються солі кальцію і магнію, а похилі сепараційні перегородки сприяють розділенню води і видаленню газів. Цей апарат забезпечує високу якість зм'якшення води, можливість роботи у безперервному режимі та ефективне виведення газів разом із надлишком пари, хоча відзначається складною конструкцією та тривалим часом перебування води в апараті (30–45 хв) [70].

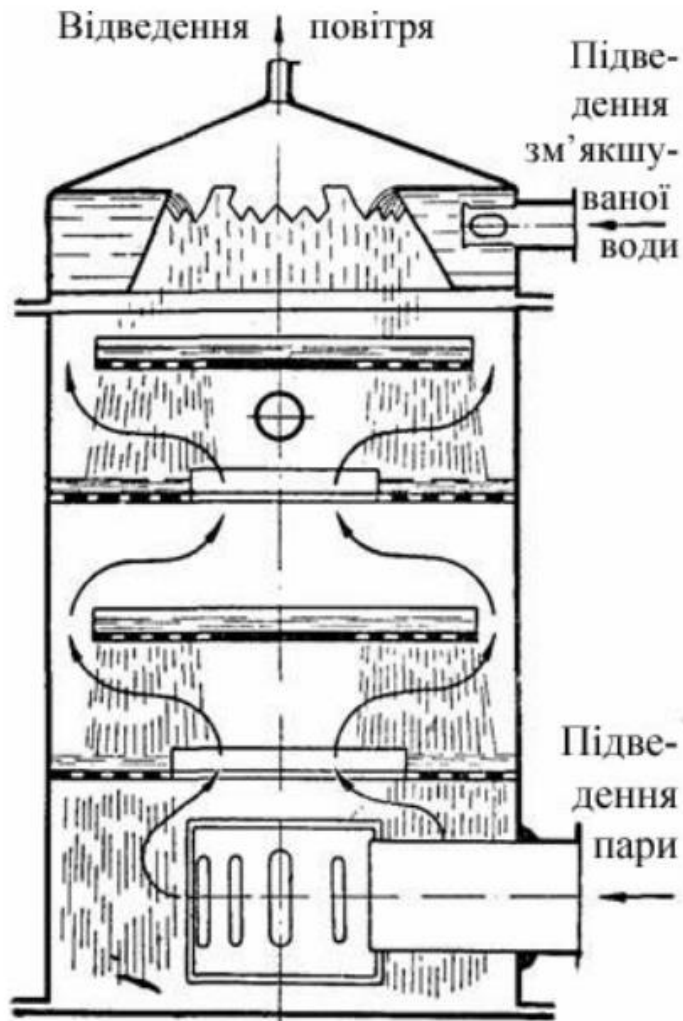


Рисунок 1.4 – Схема каскадного підігрівача

Для виготовлення апаратів використовуються стійкі до корозії матеріали, такі як нержавіюча сталь або спеціальні сплави, що забезпечує їх довговічність в умовах агресивного середовища. Сучасні термозм'якшувачі оснащуються датчиками температури і тиску, що дозволяє автоматизувати процес управління та оптимізувати споживання енергії. У деяких установках застосовують рекуперацію тепла, що знижує витрати пари.

Термічний метод зм'якшення води є ефективним способом зниження твердості та видалення газів із води. Використання апаратів різного типу, таких як підігрівачі змішуючого або каскадного типу, а також термозм'якшувачів системи Коп'єва,

дозволяє адаптувати цей метод до різних умов і потреб, забезпечуючи його застосування в промисловості, енергетиці та водопостачанні.

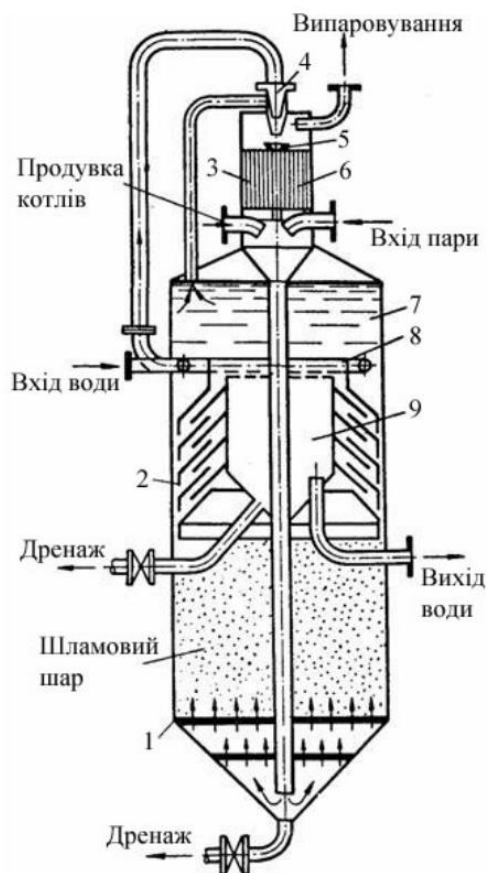


Рисунок 1.5 – Схема термозм'якшувача системи Коп'єва: 1 – дірчасте днище; 2 – сепаруючі перегородки; 3 – плівковий підігрівач; 4 – ежектор; 5 – розпилююча розетка; 6 – концентричні труби; 7 – освітлювач; 8 – кільцева охолоджуюча труба; 9 – камера освітленої води

Фосфатний метод зм'якшення води самостійно не застосовують через високу вартість реагентів, але його використовують для дозм'якшення води після первинної обробки іншими реагентами, такими як вапно та сода. Як реагенти застосовуються три- або динатрійфосфат, які при додаванні до води вступають у реакцію, утворюючи малорозчинні фосфати кальцію і магнію [71]. Наприклад, у реакціях із бікарбонатами кальцію чи магнію утворюються нерозчинні осад $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ та $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, а побічним продуктом є натрієві бікарбонати. Подібні осад формуються і при взаємодії фосфатів із солями кальцію чи магнію, такими як хлориди або сульфати. Процес фосфатного дозм'якшення зазвичай проводять при

температурах, вищих за 100°C, що дозволяє досягти залишкової твердості води на рівні 0,04-0,05 мгекв/дм³ [72].

Технологічні схеми реагентного зм'якшення води передбачають використання апаратури для приготування і дозування реагентів, змішувачів, відстійників, освітлювачів, фільтрів та пристроїв для стабілізаційної обробки води. Одним із найефективніших пристроїв є вихровий реактор (спирактор), який забезпечує компактність і ефективність процесу зм'якшення (рис. 1.6). Вихровий реактор має звужений донизу залізобетонний або сталевий корпус, наповнений приблизно до половини висоти контактною масою, такою як кварцевий пісок чи мармурова крихта з розміром зерен 0,2-0,3 мм. Вода подається через патрубок у нижню частину корпусу, що забезпечує утворення гвинтового висхідного потоку рідини. У цьому потоці контактна маса зважується, а на поверхні її частинок інтенсивно кристалізується CaCO₃, перетворюючи піщинки на кульки правильної форми. Коли діаметр кульок досягає 1,5-2 мм, їх випускають із нижньої частини реактора і замінюють свіжою контактною масою. Оскільки вихрові реактори не затримують осад гідроксиду магнію, їх комбінують із фільтрами, встановленими після реактора.

Водночас у схемах реагентного зм'якшення з освітлювачами вихрові реактори можуть замінювати вертикальними змішувачами, які забезпечують ретельне перемішування реагентів із водою. У цих системах важливо підтримувати постійну температуру, уникаючи її коливань більше ніж на 1 °C протягом години, оскільки це може спричинити виникнення конвекційних потоків, розмішування осаду і його винесення. Швидкість руху води у вихрових реакторах становить 0,8-1 м/с у нижній частині корпусу, а у верхній частині, на рівні водовідвідних пристроїв, швидкість висхідного потоку сягає 4-6 мм/с. Кут конусності корпусу становить 15-20 °C, а гідравлічний опір контактної маси – 0,3 м на 1 м висоти реактора [73].

Для невеликих витрат зм'якшуваної води застосовуються установки типу «Струмінь». У цих установках оброблювана вода розділяється на три потоки. Основний потік спрямовується до підігрівача, після чого надходить до жолоба змішувача йоржистого типу, де додаються реагенти. Другий потік проходить через двоярусний сатуратор, насичуючись вапном, а третій спрямовується до дозаторів-

змішувачів, які додають у воду розчин соди чи коагулянта, якщо це необхідно. Змішана з реагентами вода надходить у вертикальний відстійник, а потім проходить через фільтри. У відстійнику вода перебуває протягом 2-4 годин, залежно від її температури, що забезпечує видалення осаду та зниження твердості.

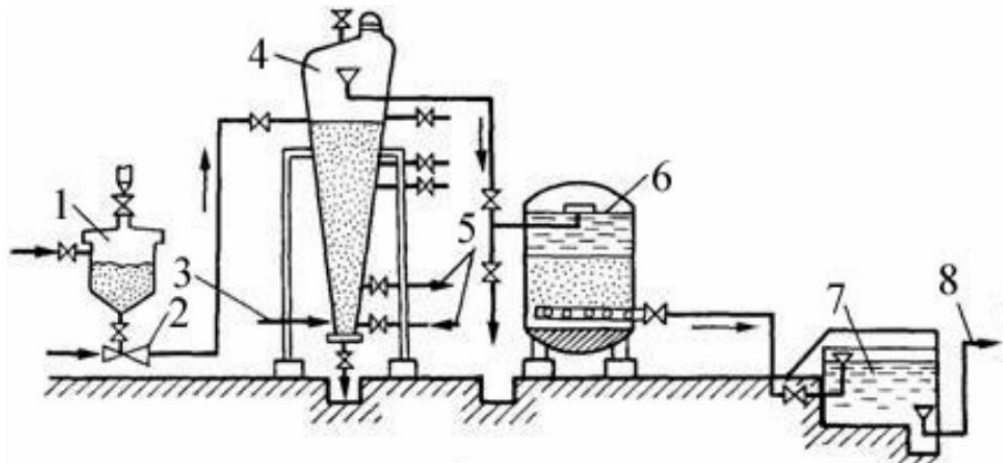


Рисунок 1.6 – Водозм'якшувальна установка з вихровим реактором: 1 – бункер з контактною масою; 2 – ежектор; 3 – подача вихідної води; 4 – вихровий реактор; 5 – введення реагентів; 6 – освітлювальний фільтр; 7 – резервуар зм'якшеної води; 8 – відведення зм'якшеної води

Фосфатний метод зм'якшення води у поєднанні з іншими реагентними технологіями, а також із використанням сучасної апаратури, забезпечує високу ефективність процесу, що робить його перспективним у різних галузях промисловості, енергетики та водопостачання.

Термохімічний метод зм'якшення води є ефективною технологією, яка поєднує реагентний і термічний підходи для досягнення низької залишкової твердості води (до $0,5 \text{ мг-екв/дм}^3$). Цей метод найчастіше використовується при підготовці води для парових котлів, оскільки забезпечує раціональне використання теплової енергії, що витрачається на підігрів води. Процес зм'якшення проводиться при температурі води понад 100°C , що сприяє інтенсифікації хімічних реакцій, утворенню великих і важких пластівців осаду, швидкому осадженню домішок та зниженню в'язкості води. Нагрівання також сприяє видаленню вільного оксиду

вуглецю (IV) до моменту додавання реагентів, що дозволяє зменшити витрати вапна [74].

Як реагенти для термохімічного зм'якшення води зазвичай використовують вапно та соду, хоча іноді застосовують гідроксид натрію, який спрощує конструкцію установок для дозування реагентів, але є економічно менш вигідним через високу вартість. Для видалення некарбонатної твердості соду додають з надлишком. Процес може здійснюватися з додаванням або без додавання коагулянтів, оскільки утворений осад має достатню густину для осадження без додаткових обтяжувачів.

Схема термохімічного зм'якшення (рис. 1.7) зазвичай включає кілька етапів. Спочатку вода підігрівається до 100-105 °С, що забезпечує часткове зм'якшення. У нижню частину підігрівача додаються реагенти (вапно, сода або гідроксид натрію), після чого в освітлювачі протягом 1-1,5 годин відбувається друга фаза зм'якшення. Для глибшого зм'якшення вода може підігріватися до 130-150 °С у другому підігрівачі, куди додають розчини фосфатів. Ця стадія триває близько 30 хвилин. Потім вода проходить через фільтри для освітлення та стабілізаційної обробки, яка регулює рН.

Осад, утворений під час термохімічного зм'якшення (здебільшого CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$), має значний ресурсний потенціал, оскільки містить компоненти, придатні для регенерації. Зокрема, кількість осаду CaCO_3 може перевищувати кількість використаного CaO в 1,5 рази через додаткове осадження некарбонатної твердості за допомогою соди. Найдоцільнішим є використання осаду вихрових реакторів, який майже повністю складається з CaCO_3 і має вологість близько 50%. Цей осад можна підсушувати на повітрі, після чого піддавати випаленню при температурі близько 1100 °С для отримання CaO . При випаленні $\text{Mg}(\text{OH})_2$ перетворюється в MgO , що може з часом знижувати якість регенованого продукту через забруднення магнієм. Для підтримання активності реагенту до регенованого осаду додають свіже вапно.

Процес регенерації осаду передбачає його сушіння до вологості 35%, після чого він надходить у роторну піч, яка обертається зі швидкістю 1 об/хв і має ухил для полегшення переміщення матеріалу. Гріюча пара сприяє випаленню осаду, що виходить із печі з мінімальною залишковою вологістю. Осад охолоджується в

повітряній сорочці й прямує в бункери для подальшого використання. Установки (рис.1.8) також оснащені пристроями для очищення газів, що відходять, забезпечуючи екологічну безпеку процесу.

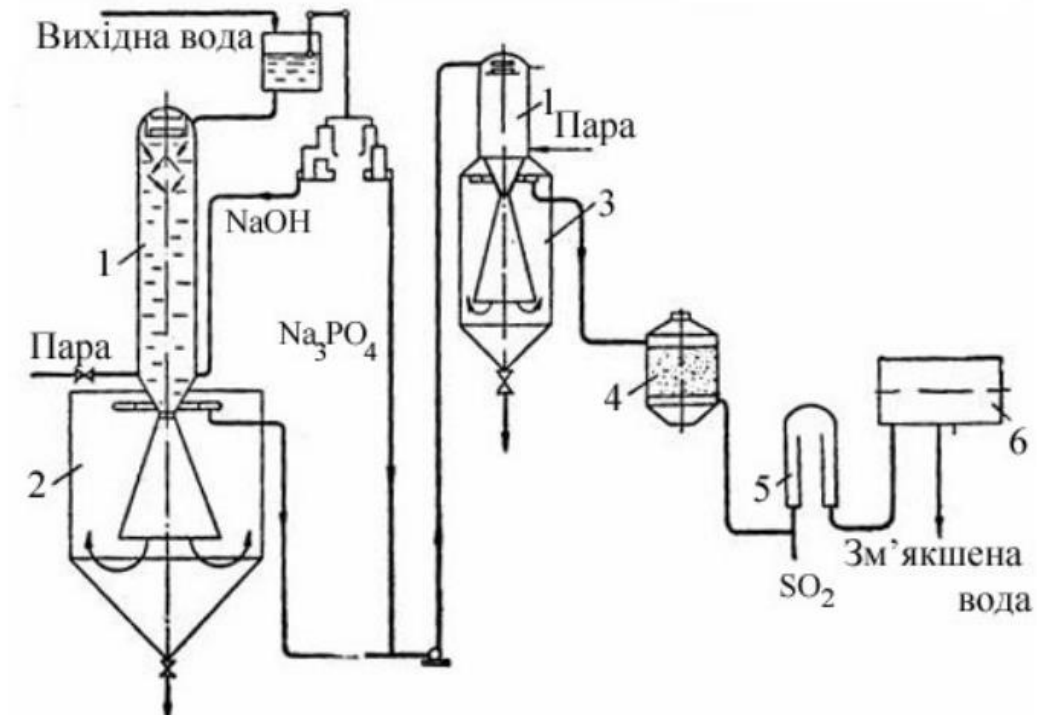


Рисунок 1.7 – Схема термохімічної установки з фосфатним дозм'якшенням: 1 – каскадний підігрівач; 2 – освітлювач; 3 – реактор-дозм'якшувач; 4 – фільтр; 5 – пристрій для нейтралізації за допомогою SO_2 ; 6 – збірний бак

Існує ще один метод стабілізаційної обробки за допомогою **магніто-кавітаційного обладнання** для активуючої обробки води, що поєднує ефекти кавітації та впливу змінного магнітного поля, забезпечуючи реструктуризацію води і підвищення її хімічної активності.

Дане обладнання (рис. 1.9 та рис. 1.10) дозволяє отримувати воду з покращеними фізико-хімічними властивостями, що робить її ефективним реагентом для хімічних і біологічних процесів [75].

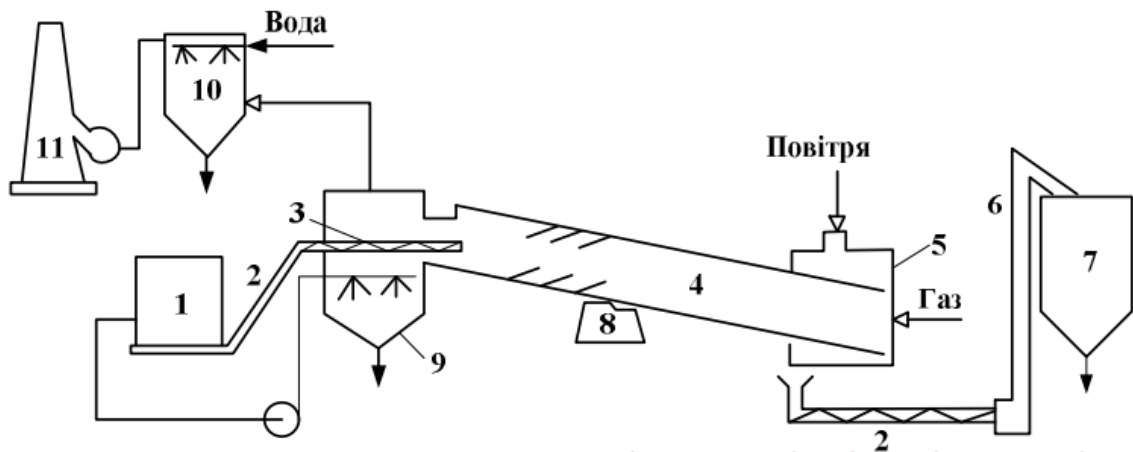


Рисунок 1.8 – Схема установки для регенерації осаду з відстійників або освітлювачів водозм'якшувальних установок: 1 – центрифуга; 2 – транспортер; 3 – шнековий живильник; 4 – роторна піч; 5 – охолоджувальна сорочка; 6 – елеватор; 7 – бункер для регенованого продукту; 8 – привід печі; 9 – скруббер 1 ступеня для знепилювання газів, що відходять; 10 – скруббер 2 ступеня; 11 – димар

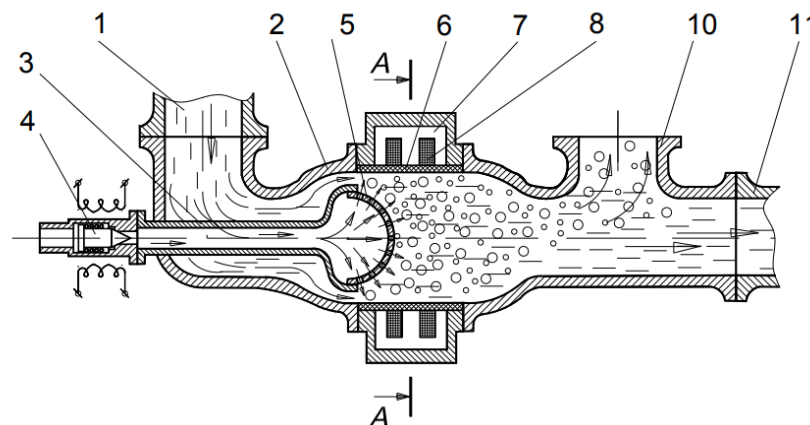


Рисунок 1.9 – Кавітатор для пневмо-магнітної активуючої обробки води: 1 – трубопровід подачі води, 2 – корпус кавітатора, 3 – Пневмопровід подачі стиснутого повітря, 4 – пневмоелектрозолотником, 5 – сферична насадка, 6 – магнітопроникна вставка, 7 – корпус кавітатора, 8 – Пневмопровід подачі стиснутого повітря, 9 – пневмоелектрозолотником, 10 – сферична насадка, 11 – магнітопроникна вставка

Принцип роботи обладнання

1. Подача води і стиснутого повітря.

Вода, що підлягає обробці, подається в корпус кавітатора через трубопровід під тиском, який перевищує 1 МПа. Одночасно пневмопроводом подається пульсуючий струмінь стиснутого повітря або іншого газу. Частота пульсацій визначається пневмоелектрозолотником і налаштовується у діапазоні 22–50 Гц, що відповідає власним частотам коливань ядер кавітації у рідині. Поверхневий натяг води забезпечує утворення з цих струменів газових бульбашок, які слугують джерелами кавітаційних каверн. Газові бульбашки формують газорідинну суміш, яка є ключовим середовищем для подальших впливів.

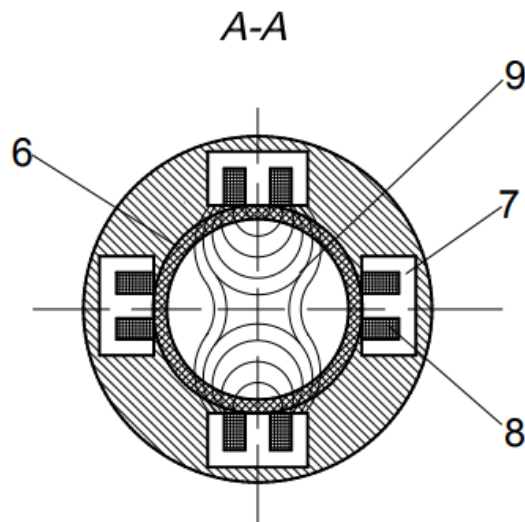


Рисунок 1.10 – Поперечний переріз кавітатора із відображенням силових ліній магнітного поля: 6 – магнітопроникна вставка, 7 – корпус кавітатора, 8 – Пневмопровід подачі стиснутого повітря, 9 – пневмоелектрозолотником

2. Кавітаційний вплив.

Пульсуючий струмінь стиснутого повітря створює кавітаційне поле, що забезпечує інтенсивний вплив на структуру води. Резонанс, який виникає через співпадіння частоти пульсацій із власними частотами кавітаційних ядер, викликає миттєве розширення та сплескування газових бульбашок. При цьому виділяється значна кількість енергії у формі ударних хвиль, які руйнують водневі зв'язки між молекулами води. В результаті зменшується енергія міжмолекулярних зв'язків у

кластерній структурі води, що створює передумови для її подальшої переструктуризації.

3. Дія магнітного поля.

Одночасно з дією кавітаційного поля на обмотки котушок електромагнітів подається змінна напруга. Це створює змінне магнітне поле із замкнутими силовими лініями, яке впливає на молекули води, пронизуючи неперервний потік рідини. Перемінне магнітне поле викликає зміну енергетичного стану молекул води, що проявляється у гальмуванні протонів у поперечному магнітному полі. В результаті цього послаблюються водневі зв'язки, а молекули переходять зі стану "кластерної" будови у мономолекулярний стан. Цей перехід супроводжується зміною напрямку спінів атомів водню у молекулах, що додатково сприяє розриву міжмолекулярних зв'язків.

4. Формування нової структури води.

Під впливом кавітаційного та магнітного полів вода набуває нової структури. Вільна енергія, яка вивільняється при сплескуванні бульбашок, нашаровується з енергією магнітного впливу, що забезпечує повний перехід молекул води у мономолекулярний стан. У такому стані вода характеризується підвищеною хімічною активністю завдяки зниженню енергії водневих зв'язків між молекулами. Це значно покращує її властивості як розчинника та реагента в окисних та інших фізико-хімічних процесах. Зміна структури також сприяє підвищенню рухливості молекул, зменшенню енергії активації процесів дисоціації та збільшенню кількості ступенів вільності молекул реагентів.

Регулювання параметрів

Регулювання параметрів є важливим елементом функціонування обладнання для магніто-кавітаційної активуючої обробки води. Воно забезпечує можливість адаптації обладнання до різних умов експлуатації та досягнення оптимальної якості обробленої води. Основні механізми регулювання включають налаштування інтенсивності кавітаційного впливу та напруженості магнітного поля.

1. Регулювання інтенсивності кавітаційного впливу.

Інтенсивність кавітаційного впливу регулюється зміною параметрів стиснутого повітря, що подається у робочу зону кавітатора:

- Пульсації стиснутого повітря повинні співпадати з власною частотою коливань кавітаційних ядер, що дозволяє досягти явища резонансу. Зміна частоти пульсацій у межах від 22 до 50 Гц забезпечує точне налаштування цього параметра. Такий підхід дозволяє оптимізувати кількість кавітаційних бульбашок, що утворюються в одиниці об'єму газорідинної суміші.
- Тиск повітря, що подається, регулюється таким чином, щоб він перевищував тиск води у кавітаторі, зазвичай щонайменше вдвічі. Наприклад, робочий тиск стиснутого повітря може перевищувати 1 МПа. Підвищення тиску дозволяє збільшити інтенсивність утворення кавітаційних каверн, а зниження — зменшити цей вплив, що є корисним для адаптації до різних типів води.

Завдяки регулюванню цих параметрів можна варіювати кількість кавітаційних бульбашок, їхній розмір і, відповідно, потужність ударної хвилі, що виникає під час їх сплескування. Це дозволяє досягти необхідного рівня руйнування кластерної структури води.

2. Регулювання напруженості магнітного поля.

Змінне магнітне поле, створене електромагнітами, є ключовим елементом впливу на структуру молекул води. Напруженість магнітного поля регулюється за допомогою струму, що подається на обмотки котушок електромагнітів:

- Збільшення сили струму, що протікає через обмотки котушок, підвищує градієнт напруженості магнітного поля. Це дозволяє посилити вплив на молекули води, зокрема на водневі зв'язки між ними. Зниження сили струму, у свою чергу, зменшує інтенсивність впливу, що є корисним для обробки менш концентрованих чи специфічних розчинів [76].
- Частота змінного струму, що подається на обмотки, визначає періодичність зміни магнітного поля. Її можна регулювати за допомогою генератора змінного струму, що дозволяє створювати оптимальні умови для ефективної дії на молекули води.

Зміна параметрів магнітного поля забезпечує гнучке регулювання глибини та інтенсивності впливу на електронну структуру молекул води. Це дозволяє досягти бажаного рівня її переструктуризації з кластерної до мономолекулярної структури.

3. Комплексна оптимізація параметрів.

Синхронне регулювання інтенсивності кавітаційного впливу та параметрів магнітного поля дозволяє досягти найвищої якості обробленої води. Наприклад:

- Підвищення частоти пульсацій повітря в поєднанні зі збільшенням сили магнітного поля сприяє інтенсифікації процесів руйнування кластерів.
- Зниження тиску повітря при високому магнітному полі дозволяє зменшити енергоспоживання, зберігаючи необхідний рівень активації води.

Така система регулювання забезпечує адаптивність обладнання для різноманітних застосувань, дозволяючи отримувати активовану воду із заданими властивостями залежно від цілей її використання.

Властивості обробленої води

Оброблена вода, отримана за допомогою магніто-кавітаційної технології, має унікальні фізико-хімічні властивості, які суттєво відрізняються від звичайної води. Ці властивості зумовлені переходом молекул води із кластерної структури до мономолекулярного стану. Така структура характеризується підвищеною активністю і покращеними реактивними властивостями, що відкриває широкий спектр застосувань [77].

1. Зниження енергії зв'язків між молекулами.

Під час обробки води руйнуються водневі зв'язки, які об'єднують молекули у кластери. У мономолекулярній структурі:

- Зменшується енергія міжмолекулярних взаємодій, що полегшує зміну стану молекул під час фізико-хімічних процесів [78].
- Вода стає менш в'язкою, що покращує її проникнення у тверді речовини та пористі матеріали.

Властивість є особливо корисною у технологіях очищення, де необхідно забезпечити глибоке проникнення води в структури забруднень.

2. Підвищення здатності до дисоціації.

Мономолекулярна структура сприяє полегшенню процесів дисоціації молекул води на іони [79]:

- Зростає концентрація іонів H^+ і OH^- у воді, що підвищує її реакційну здатність.
- Завдяки цьому вода демонструє підвищену активність у процесах окислення та відновлення.

Властивість обробленої води важлива для використання у хімічній промисловості, де потрібні ефективні каталізатори реакцій.

3. Покращення розчинності речовин.

Вода з мономолекулярною структурою має підвищену здатність розчиняти різні речовини [80]:

- Зниження енергії водневих зв'язків у воді полегшує проникнення молекул води між атомами і молекулами розчинених речовин, прискорюючи процес їх розчинення.
- Ефективніше розчиняє як органічні, так і неорганічні сполуки, включно зі складними макромолекулами, такими як білки, ферменти чи полімери.

Ця властивість робить оброблену воду незамінною у фармацевтиці, біотехнологіях, а також у виробництві напоїв і харчових продуктів.

Таким чином, магніто-кавітаційне обладнання для обробки води є сучасним і ефективним рішенням для стабілізації її властивостей та покращення якості в різних технологічних процесах.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З урахуванням актуальності проблеми покращення якості природних вод та зниження їх жорсткості, особливу увагу приділяється дослідженню впливу магнітного поля на водні розчини. Цей розділ присвячений опису об'єктів дослідження, методик їх обробки магнітним полем та способів оцінки ефективності таких процесів. Основна мета полягає у визначенні оптимальних умов обробки води магнітним полем для зниження її жорсткості та інтенсивності накипоутворення, що є важливим для забезпечення ефективності технологій водопідготовки.

2.1. Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження в даній роботі виступили природні та штучні водні розчини з підвищеною жорсткістю, які були спеціально підготовлені для моделювання реальних умов експлуатації води з високим вмістом солей жорсткості. Основна увага приділялася дослідженню впливу магнітного поля на процеси зниження жорсткості води та запобігання утворенню накипу. Для цього були використані як природні води, так і штучно підготовлені модельні розчини, що дозволило контролювати та аналізувати зміни їхніх фізико-хімічних властивостей під впливом магнітного поля.

2.1.1. Водні розчини

Природна вода

Таблиця 2.1 – Характеристики природної води

Визначені показники	Одиниці вимірювання	Результати досліджень	Нормативні значення	Нормативні документи
Фізико-хімічні показники				
Забарвленість	градуси	-42,3	≤35	ДСТУ ISO 7887:2003
Каламутність	НОК	-4,6	≤3,5	ДСТУ ISO 7027:2003
Продовження таблиці 2.1				

Амоній (за NH_4^+)	мг/дм ³	0,17	$\leq 2,6$	МВВ 081/37-0698-10
Водневий показник, рН	одиниця рН	7,35	6,5 - 8,5	ДСТУ 4077-2001
Залізо загальне	мг/дм ³	0,4	$\leq 1,0$	МВВ 081/37-0734-11
Загальна жорсткість	мг-екв/дм ³	5,7	≤ 10	ДСТУ ISO 6059
Карбонатна жорсткість	мг-екв/дм ³	4,0	не нормується	ДСТУ ISO 9963-2:20
Загальна лужність	мг-екв/дм ³	5,0	не нормується	ДСТУ ISO 9963-1
Кальцій	мг/дм ³	88,2	≤ 130	ДСТУ ISO 6058
Магній	мг/дм ³	15,8	≤ 80	ДСТУ ISO 6059
Марганець	мг/дм ³	0,362	$\leq 0,5$	МВВ 081/37-0736-11
Загальна мінералізація (TDS)	мг/дм ³	503	≤ 1500	ГОСТ 18164-72
Сухий залишок	мг/дм ³	350	≤ 1000	ГОСТ 18164-72
Сульфати	мг/дм ³	24	≤ 500	МВВ 081/37-0700-10
Хлориди	мг/дм ³	42,2	≤ 350	ДСТУ ISO 9297:2007
Ортофосфати	мг/дм ³	0,61	не нормується	ДСТУ ISO 6878:2001
Нітрати (за NO_3^-)	мг/дм ³	3,1	≤ 50	МВВ 081/37-0699-10
Перманганатна окиснюваність	мг/дм ³	-6,27	$\leq 5,0$	ДСТУ ISO 8467:202
Натрій	мг/дм ³	22,5	не нормується	ГОСТ 23268.6-78
Калій	мг/дм ³	1,85	2 - 20	ГОСТ 23268.7-78
Фториди	мг/дм ³	0,35	$\leq 1,5$	ГОСТ 4386-89
Електропровідність	мкСм/см	590	не нормується	ГОСТ 22018
Гідрокарбонати	мг/дм ³	305	не нормується	ДСТУ ISO 9963-1:2007

Модельні розчини

Для більш детального вивчення впливу магнітного поля на водні розчини були підготовлені модельні розчини на основі природної води. Для цього до природної води додавали хлорид кальцію (CaCl_2) для досягнення заданого рівня кальцієвої жорсткості. Це дозволило імітувати природну воду з високим вмістом солей жорсткості, яка часто використовується в промислових умовах.

2.1.2. Матеріали та реагенти

Модельні розчини готували з використанням реагентів, приведених в табл. 2.2. Необхідні експериментальні установки виготовляли із типових елементів із скла, поліетилену та металу. Конкретні конструкції описані нижче.

В окремих випадках модельні розчини для проведення серій експериментів отримували шляхом розчинення в дистильованій воді відповідної кількості сполук кальцію та магнію.

Розчини карбонату натрію, гідроксиду натрію, готували з використанням відповідних реагентів або їх суміші з визначенням еквівалентних концентрацій аналітичним методом.

Необхідні значення водневого показника встановлювали з допомогою розчинів HCl та NaOH.

Таблиця 2.2 – Реагенти та матеріали, використані в процесі досліджень

Реагент чи матеріал	Кваліфікація	Нормативний документ
CaCl ₂	х.ч.	ТУ 6-09-4711-81
MgCl ₂ *6H ₂ O	х.ч.	ДСТУ 4209-77
Na ₂ CO ₃	х.ч.	ГОСТ 32802 - 2014
HCl	х.ч.	ДСТУ 2904 - 94
H ₂ SO ₄	техн.	ДСТУ ГОСТ 2184:2018
NaOH	х.ч.	ДСТУ ISO 3196:2001

2.2. Методики проведення експериментів

Методика проведення експериментів була спрямована на дослідження впливу магнітного поля на водні розчини з підвищеною жорсткістю, зокрема на зниження жорсткості води та запобігання утворенню накипу. Для досягнення цієї мети було розроблено комплексний підхід, що включав підготовку модельних розчинів, їх обробку магнітним полем у різних умовах, проведення термічних випробувань та аналіз фізико-хімічних змін у складі води.

Обробка магнітним полем

Обробка води магнітним полем здійснювалася двома основними методами:

Статична обробка – розчини витримували в магнітному полі певної напруженості протягом визначеного часу та динамічна обробка – рідина

прокачувалася через магнітне поле зі змінними параметрами потоку, що дозволяло імітувати реальні умови циркуляції води в системах водопостачання.

Для проведення експериментів було розроблено дві основні лабораторні установки:

- Установка для статичної обробки розчинів (рис. 2.1а). Ця установка призначалася для дослідження впливу магнітного поля на нерухомі водні розчини. Вона складалася з ємкості для розчину, під якою розміщувалися магніти. Така конструкція дозволяла досліджувати вплив магнітного поля на різні шари рідкої фази.
- Установка для обробки рухомих розчинів (рис. 2.1б). Ця установка була призначена для дослідження впливу магнітного поля на водні розчини, що рухалися через силові лінії магнітного поля. Вона включала ємність для циркуляції розчину та систему магнітів, розташованих уздовж потоку води. Це дозволяло імітувати реальні умови обробки води в промислових системах.

Обробку водних розчинів магнітним полем здійснювали за двома основними підходами — статичним і динамічним. У межах статичної методики зразки розчину витримували в ємності під дією постійного магнітного поля, створеного феритовими магнітами з максимальною магнітною індукцією 24 мТл на поверхні. Тривалість експозиції варіювалася від 10 до 120 хвилин. Після завершення обробки розчини ретельно перемішували з метою забезпечення однорідності складу.

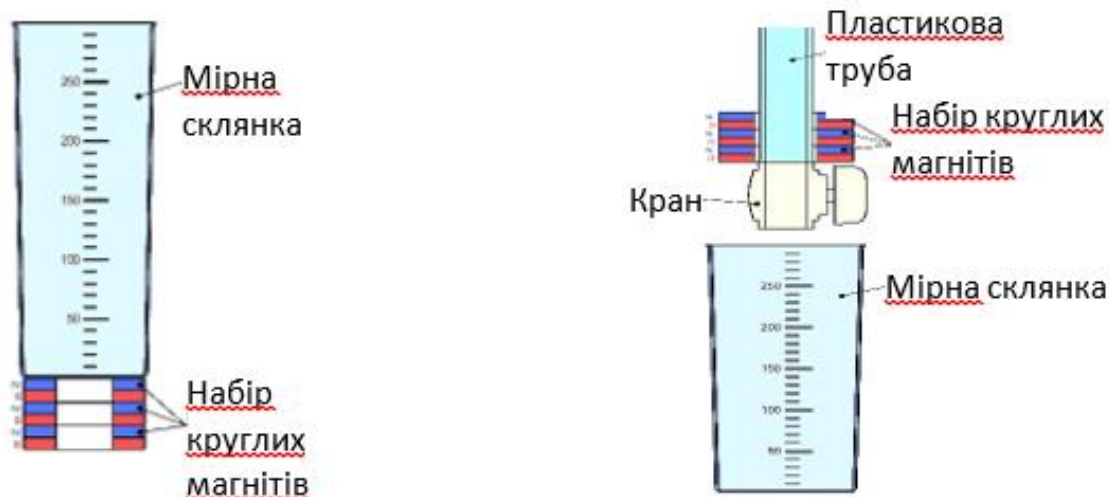


Рисунок 2. 1 – Лабораторні пристрої для вивчення впливу магнітного поля на водні розчини: а) для статичної рідкої фази, б) для рухомої рідкої фази

У разі динамічної обробки розчин пропускався через зону дії магнітного поля за допомогою насоса. Швидкість руху потоку води регулювалася в діапазоні 0,2–0,5 м/с. Для створення магнітного поля застосовували магніти з різною індукцією (від 35,2 до 123,7 мТл) і різною полярністю. Після проходження через магнітне поле зразки також піддавали перемішуванню.

Застосування обох підходів — до нерухомих і до рухомих розчинів — дало змогу комплексно оцінити ефекти магнітної обробки у контексті умов, максимально наближених до реальних промислових систем водопідготовки.

З метою імітації умов, наближених до реальної експлуатації води в системах теплопостачання та промислових установках, у дослідженні була передбачена термічна обробка водних розчинів. Ця процедура дозволила проаналізувати термостійкість фізико-хімічних змін, викликаних попередньою магнітною обробкою, а також оцінити тенденції до утворення накипу за підвищених температур.

Під час експерименту водні розчини нагрівали до температури в діапазоні 60–90 °С та витримували при цій температурі протягом 60–90 хвилин. Такий температурно-часовий режим був обраний для відтворення умов, характерних для

водонагрівачів, теплообмінників та інших термотехнічних систем, де відбувається інтенсивне осадження солей жорсткості, зокрема карбонату кальцію.

Після завершення термічної обробки проводили вимірювання залишкової жорсткості води, а також визначали кількість утвореного осаду, який відокремлювався шляхом фільтрації та подальшого висушування. Це дозволило кількісно оцінити інтенсивність процесів кристалізації та масштаби потенційного утворення накипу.

Джерела магнітного поля

Для створення магнітного поля використовувалися постійні феритові магніти циліндричної форми з зовнішнім діаметром 50 мм, внутрішнім діаметром 25 мм та товщиною 10 мм. Магніти забезпечували максимальну магнітну індукцію на поверхні до 24 мТл. Для дослідження впливу різних інтенсивностей магнітного поля магніти комбінувалися в різних конфігураціях: з проміжками між магнітами, без проміжків, з однаковою або протилежною полярністю. Це дозволило варіювати величину магнітної індукції в діапазоні від 35,2 до 123,7 мТл.

Прилади для вимірювання магнітної індукції

Для вимірювання магнітної індукції використовувався тесламетр TD 8620. Цей прилад дозволяв точно вимірювати величину магнітної індукції в різних точках простору, що було важливим для контролю інтенсивності магнітного поля в експериментах. За допомогою тесламетра було встановлено, що магнітна індукція швидко зменшується з віддаленням від поверхні магніту, що впливало на рівномірність обробки розчинів.

Прилади для аналізу фізико-хімічних параметрів розчинів

Для вимірювання основних параметрів водних розчинів використовувалися такі прилади:

- TDS-метр – для вимірювання питомої електропровідності розчинів. Цей прилад дозволяв оцінювати загальну мінералізацію розчинів, що було важливим для контролю їх складу після обробки магнітним полем.
- рН-метр рН-686 – для вимірювання водневого показника (рН) розчинів. Цей прилад дозволяв контролювати зміни кислотно-лужних властивостей розчинів під час експериментів.

Нагрівальні елементи

Для імітації реальних умов експлуатації водних розчинів у теплогенеруючих системах використовувалися нагрівальні елементи, які розміщувалися безпосередньо в ємкостях з розчинами. Нагрівання проводилося до температур 60–90 °С, що дозволяло досліджувати процеси кристалізації карбонату кальцію та утворення накипу. Для контролю температури використовувався термометр з точністю вимірювання $\pm 0,1$ °С.

Додаткове обладнання

- **Лабораторний посуд:** для підготовки та зберігання модельних розчинів використовувалися скляні ємності різного об'єму. Важливим було забезпечення однакових умов контакту розчинів з атмосферою, тому використовувалися ємності з однаковою площею поверхні.
- **Мішалки:** для забезпечення однорідності розчинів після обробки магнітним полем використовувалися магнітні мішалки, що дозволяли ретельно перемішувати розчини перед проведенням аналізів.

Вимірювання параметрів розчинів

Для визначення ефективності магнітної обробки води проводилися вимірювання таких параметрів:

- Електропровідність – використовувалася для аналізу змін у складі води після дії магнітного поля.
- Водневий показник (рН) – вимірювався до та після обробки для оцінки зміни кислотно-лужного балансу води.
- Залишкова жорсткість – визначалася шляхом хімічного аналізу, що дозволяло оцінити ефективність зменшення концентрації іонів кальцію та магнію.

Термічна обробка

Щоб оцінити можливість утворення накипу після впливу магнітного поля, проводилася термічна обробка розчинів. Вода нагрівалася до різних температур та витримувалася в заданому температурному режимі. Після цього визначали кількість осаду та накипу, що утворився на нагрівальних поверхнях.

Оптимізація параметрів обробки

Окремо проводилися дослідження для визначення найбільш ефективних умов обробки води. Було вивчено вплив часу дії магнітного поля, його інтенсивності, а також температурного режиму. Це дозволило встановити оптимальні параметри, які забезпечують максимальне зниження жорсткості води та запобігають утворенню накипу.

Статистична обробка результатів

Для підвищення точності та достовірності результатів кожен експеримент повторювався декілька разів, після чого проводилася статистична обробка

отриманих даних. Усереднення результатів та розрахунок похибок дозволили забезпечити надійність отриманих висновків.

Таким чином, методика досліджень охоплювала всі ключові аспекти впливу магнітного поля на жорстку воду, що дозволило провести всебічний аналіз ефективності даної технології у водопідготовчих процесах.

2.3. Методики аналізу розчинів на вміст різноманітних сполук

2.3.1 Визначення вмісту іонів кальцію та магнію

Для визначення жорсткості води та розчинів, а також визначення окремо кальцієвої та магнієвої жорсткості були застосовані методи комплексометрії – метод титрування, що базується на реакції взаємодії комплексонів з іонами кальцію чи магнію [81, 82]. Титрування проводили з використанням індикатору еріохром чорний Т, для визначення лише вмісту іонів кальцію використовували індикатор мурексид. Знаючи вміст кальцію, по різниці значень встановлювали вміст магнію.

Доповненням до титриметричного методу виступав гравіметричний аналіз, орієнтований на вивчення процесів кристалізації та утворення твердих фаз, зокрема карбонатів, у результаті термічного навантаження. Було досліджено кількість осаду, що утворюється у розчині, а також оцінено характер і масу накипу, який формується на нагрівальних елементах. Для моделювання реальних умов експлуатації води у теплотехнічному обладнанні розроблено методику термічної обробки зразків за контрольованих температурних режимів, яка дозволила прискорити осадження солей жорсткості та візуалізувати відмінності у кристалізаційній поведінці води після магнітної обробки.

2.4. Математична обробка експериментальних даних

Для забезпечення достовірності отриманих результатів та встановлення статистично значущих закономірностей, усі експериментальні дані підлягали

математичній обробці. Основними задачами були: перевірка повторюваності експериментів, обчислення середніх значень, визначення похибок вимірювання, а також побудова емпіричних залежностей між параметрами магнітної обробки та змінами фізико-хімічних властивостей водних розчинів.

Основні етапи математичної обробки:

Усереднення результатів. Для кожної серії експериментів проводилося не менше трьох повторень. Розраховувалося середнє арифметичне значення параметра за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

де x_i — результат окремого вимірювання, n — кількість вимірювань.

Оцінка випадкової похибки. Визначалась середньоквадратична похибка (стандартне відхилення) для кожної вибірки:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

а також відносна похибка:

$$\delta = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

Кореляційний аналіз. Для оцінки залежності між параметрами магнітної обробки (інтенсивність, тривалість) та фізико-хімічними характеристиками води (жорсткість, провідність, рН) використовувався коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})\sum(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2\sum(y_i - \bar{y})^2}$$

Значення r в інтервалі від 0,7 до 1,0 свідчать про сильний позитивний зв'язок між змінними.

1. Регресійний аналіз. У разі наявності статистично значущого зв'язку будувались рівняння регресії (лінійної або поліноміальної форми), що дозволяли прогнозувати зміну характеристик розчинів залежно від параметрів магнітної обробки.
2. Перевірка значущості результатів. Для встановлення достовірності розбіжностей між контрольними та дослідними зразками використовувався t -критерій Стьюдента:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

де $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ — середні значення для дослідної та контрольної групи, σ_1, σ_2 — стандартні відхилення, n_1, n_2 — кількість вимірювань у кожній групі.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Сучасний стан водних ресурсів України та світу характеризується поступовим погіршенням якості поверхневих і підземних вод, що спричинене активною антропогенною діяльністю, забрудненням довкілля та змінами клімату. Зокрема, згідно з результатами державного та незалежного моніторингу, у багатьох регіонах країни спостерігається підвищена концентрація мінеральних компонентів у воді – таких як іони кальцію, магнію, заліза, а також органічних забруднювачів, які суттєво впливають на експлуатаційні характеристики води та ускладнюють її використання у промислових і побутових системах. Найбільш розповсюдженою проблемою є жорсткість води, яка зумовлює інтенсивне утворення накипу на поверхнях теплообмінного обладнання, у трубопроводах і резервуарах. Це, в свою чергу, знижує енергоефективність систем, призводить до збільшення витрат на обслуговування, підвищує аварійність інфраструктури та скорочує термін служби обладнання.

У відповідь на ці виклики традиційно застосовуються методи водопідготовки, такі як хімічне (реагентне) пом'якшення, іонообмінна обробка, електродіаліз, мембранні технології тощо. Однак усі ці підходи мають свої обмеження. Вони передбачають використання значної кількості хімічних реагентів, що спричиняє утворення вторинних стічних вод, які потребують додаткової очистки, створюють навантаження на очисні споруди та, в окремих випадках, можуть становити небезпеку для навколишнього середовища. Крім того, такі методи зазвичай є енергоємними, дорогавартісними в експлуатації, вимагають кваліфікованого обслуговування та утримання відповідного технологічного обладнання.

У цьому контексті зростає інтерес до альтернативних, екологічно чистих і ресурсоефективних методів впливу на властивості води, серед яких особливе місце займає магнітна обробка. Цей метод ґрунтується на проходженні води через магнітне поле певної напруженості, що, за численними дослідженнями, може змінювати структуру води, впливати на сольові комплекси та пригнічувати кристалізацію карбонатів, тим самим зменшуючи утворення твердих відкладень на поверхнях

обладнання. Серед ключових переваг магнітної обробки – відсутність необхідності у використанні реагентів, зниження експлуатаційних витрат, простота інтеграції в існуючі системи, відсутність утворення шкідливих відходів, мінімальні вимоги до технічного обслуговування.

Попри широке практичне застосування магнітної обробки води в Україні та за кордоном, механізми її дії досі залишаються об'єктом наукових дискусій. Наявні теоретичні моделі не повністю пояснюють вплив магнітного поля на водні розчини та динаміку сольових кристалів, а результати експериментів нерідко мають суперечливий характер залежно від умов проведення. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває систематичне дослідження впливу магнітної обробки на фізико-хімічні властивості води в лабораторних умовах із фіксацією об'єктивних показників і моделюванням реальних сценаріїв її застосування.

У цьому розділі наведено результати експериментального дослідження особливостей магнітної обробки води, здійснено їх інтерпретацію з урахуванням існуючих теоретичних підходів, порівняння з аналогічними роботами, а також проведено аналіз ефективності методу за обраними критеріями. Отримані результати можуть бути використані для формування обґрунтованих рекомендацій щодо досліджень в галузі використання магнітної технології в системах водопідготовки в промисловості, комунальному секторі та побуті.

3.1. Дослідження впливу магнітного поля на фізико-хімічні параметри водних розчинів

У межах дослідження ефектів впливу магнітного поля на водні середовища основну увагу було зосереджено на вивченні змін фізико-хімічних властивостей води, зокрема її жорсткості. Об'єктом дослідження стали природні та штучно підготовлені водні розчини з підвищеним вмістом солей жорсткості, що моделювали умови, наближені до реальної експлуатації води в побутових та промислових системах. Дослідження проводилося як на природних зразках води, так і на штучно

створених модельних розчинах, що дало змогу точно контролювати параметри середовища та відстежувати реакцію на магнітну обробку.

Основні параметри природної води, що використовувалася в експериментах і важливі з точки зору її жорсткості, наведені нижче:

- Загальна мінералізація 503 мг/дм^3 - відображає загальну концентрацію розчинених у воді мінеральних речовин, які включають іони кальцію, магнію, натрію, калію, хлоридів, сульфатів та гідрокарбонатів.
- Кальцієва жорсткість $27,4 \text{ мг-екв/дм}^3$ - параметр був штучно підвищений шляхом додавання хлориду кальцію (CaCl_2) до природної води, що дозволило створити модельний розчин з високою жорсткістю, характерною для вод, які використовуються в промислових умовах.
- Вміст гідрокарбонатів (HCO_3^-) 305 мг/дм^3 , що є одними з основних компонентів, що впливають на формування карбонату кальцію (CaCO_3) – основного компонента накипу.

Для більш глибокого аналізу впливу магнітного поля на фізико-хімічні властивості води було підготовлено серію модельних розчинів на основі природної води. Використання модельних систем дало змогу цілеспрямовано регулювати такі ключові параметри, як загальна жорсткість, рівень мінералізації та концентрація окремих іонів.

Визначення оптимальних параметрів впливу магнітного поля на водні розчини з підвищеною жорсткістю було проведено серію додаткових експериментальних досліджень. У фокусі перебували температурні та часові режими обробки, які відіграють ключову роль у перебігу процесів кристалізації та зміни фізико-хімічного стану води.

Дослідження охоплювали аналіз змін показників водних розчинів за температур в діапазоні від 20 до 90°C та при різній тривалості магнітної обробки — від 30 до 120 хвилин. Особливу увагу було приділено визначенню температури, за якої процес кристалізації карбонату кальцію є найактивнішим, а також встановленню оптимального часу впливу магнітного поля для досягнення максимальної ефективності обробки.

Результати експериментів засвідчили, що найсприятливіші умови для зниження жорсткості та інтенсифікації утворення осаду карбонату кальцію досягаються при температурі 70 °С та тривалості магнітної обробки у межах 60–70 хвилин. Саме за цих умов було зафіксовано найбільш виражене зменшення концентрації іонів кальцію та магнію у розчині, а також найвищу масу утвореного осаду. Отримані дані можуть бути використані для розробки технологічних регламентів обробки води в системах теплозабезпечення та водопідготовки.

Усі експериментальні дослідження супроводжувалися статистичною обробкою отриманих даних. Кожен експеримент проводився не менш ніж тричі, після чого здійснювалося усереднення результатів і розрахунок стандартної похибки вимірювань. Такий підхід дозволив мінімізувати вплив випадкових похибок та забезпечити надійність і точність отриманих значень фізико-хімічних параметрів.

3.2. Оцінка ефективності впливу магнітного поля на процеси пом'якшення природних вод

При проведенні досліджень з використанням магнітного поля варто звертати увагу на той факт, що магнітне поле відноситься до факторів близької дії. Як видно з рис. 3.1, вже на відстані 5 мм від поверхні магніту величина магнітної індукції знижується вдвічі, а при віддаленні на 50 мм – спадає до 0,1 – 6,7 мТл при максимальній індукції на поверхні магніту в 77,8 – 129,6 мТл. А це призводить до того, що різні шари рідкої фази будуть піддаватися дії магнітного поля різної величини, а поверхневі взагалі можуть не відчувати такої дії. Такий стан речей вимагає досить зважено підходити до планування експериментів та перед проведенням хімічних аналізів розчини ретельно перемішувати для отримання адекватних результатів.

Сьогодні оцінка ефективності антискалантів та фізичних факторів в процесах пом'якшення води базується на тривалому її нагріванні при температурах 60 – 90 °С та хімічному аналізі з використанням трилону Б, що потребує значних затрат часу та ресурсів. Тому використання з цією метою інших, простіших і можливо навіть

опосередкованих параметрів оброблених розчинів є досить актуальною. Найбільш простими і доступними для реального вимірювання параметрів оброблених розчинів є водневий показник та питома електропровідність. Разом з тим, не варто забувати, що приготовлені модельні розчини можуть змінювати ці параметри при контакті з повітрям в результаті поглинання вуглекислого газу та формуванні карбонат- та гідрокарбонат-аніонів. Як видно з рис. 3.2, навіть без будь-якого зовнішнього втручання з часом вказані параметри можуть суттєво змінюватися в результаті контакту з атмосферою. Причому, якщо в кислому та нейтральному середовищі така зміна рН спостерігається в бік зростання, то в лужному – в бік зниження. І хоча такі зміни досить незначні, але і при вивченні впливу магнітного поля зміни цих параметрів мають невеликі значення, тому можуть нівелюватися першими.

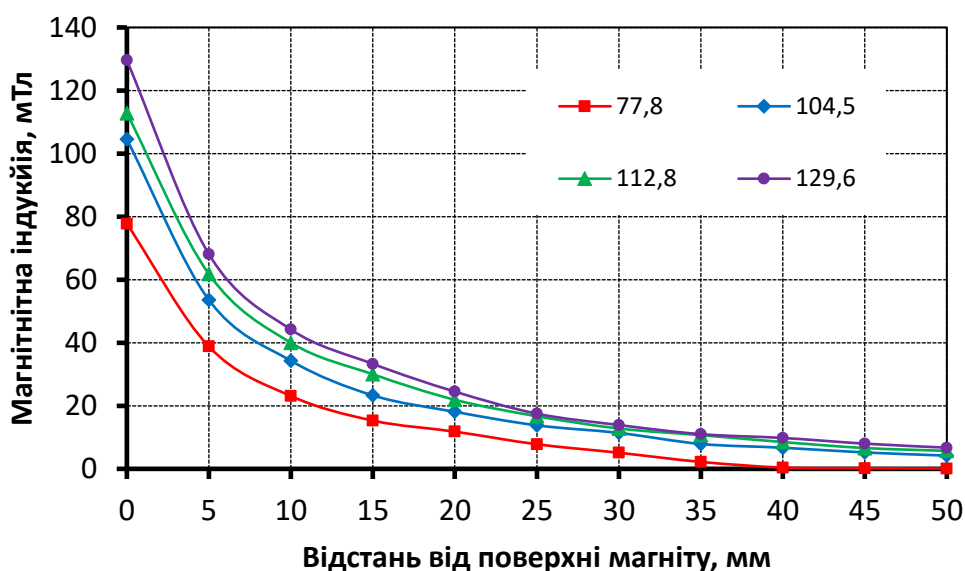


Рисунок 3.1 – Зміна величини магнітної індукції в залежності від відстані від поверхні магніту при різних її максимальних значеннях на поверхні магніту (мТл)

Необхідно також зважати на той факт, що в дослідях важливо використовувати хімічний посуд одного об'єму при однаковій площі контакту з атмосферою. Зрозуміло, що при зміні об'єму проби поглинання вуглекислого газу із атмосфери лишатиметься однаковим, що змінюватиме його концентрацію в модельних розчинах і, відповідно, зміна рН відбуватиметься з різною інтенсивністю. Як видно

з рис. 3.3, при меншому об'ємі проби накопичення вуглекислого газу відбувається швидше і зміна рН з часом зростає крутіше. При збільшенні об'єму проби нахил кривої суттєво знижується.

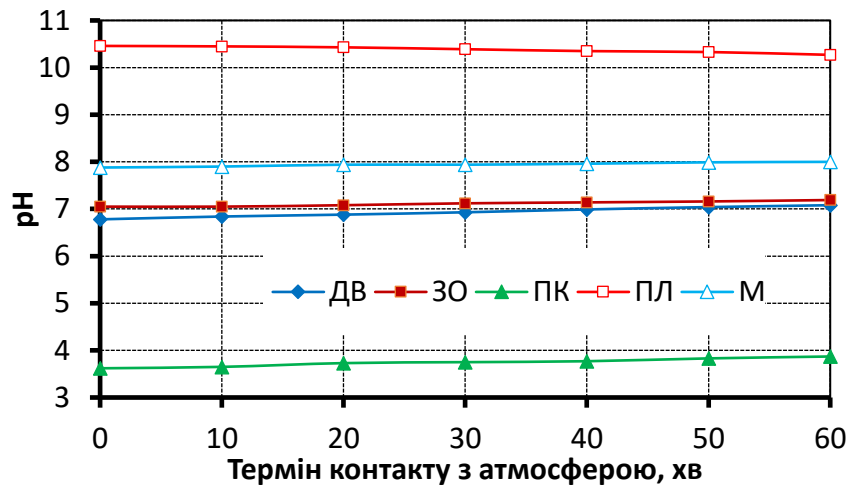


Рисунок 3.2 – Зміна величини рН в залежності від терміну контакту з атмосферою (ДВ – дистильована вода; ЗО – вода після зворотно осмотичної установки; ПК – підкислена ДВ; ПЛ – підлужена ДВ; М – природна вода з доведенням загальної жорсткості до рівня 27,4 мг-екв/дм³)

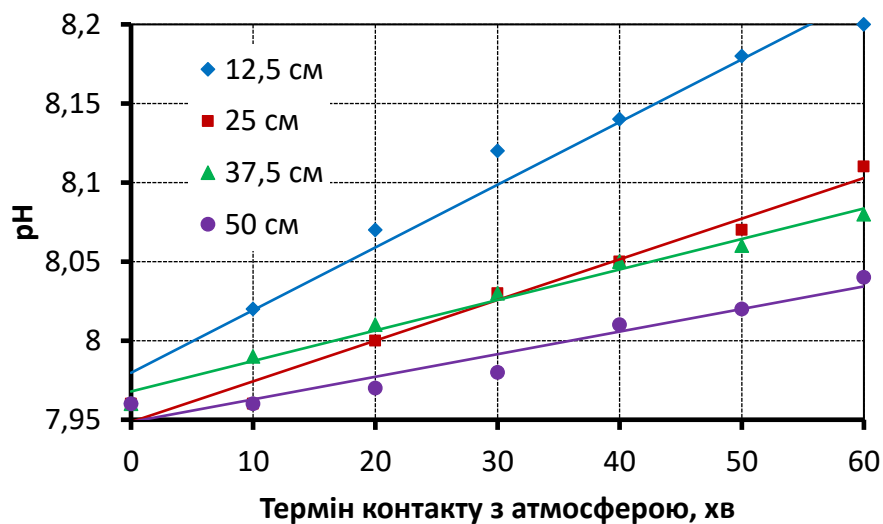


Рисунок 3.3 – Зміна величини водневого показника в залежності від терміну контакту з атмосферою при різних значеннях товщини шару рідкої фази

Відомо, що постійне магнітне поле практично не впливає на фізико-хімічні властивості розчинів. Разом з тим, приведені вище фактори можуть суттєво

змінювати експериментальні дані. Тому нами було проведено додаткові дослідження в цьому напрямку. Їх результати приведені на рис. 3.4.

Відразу зауважимо, що зміни питомої електропровідності відбувалися досить нестабільно і не дозволяють стверджувати про якусь залежність. Це ми пов'язуємо з тим фактом, що питома електропровідність зразків розчинів сягала 3000 мкСм/см, що практично нівелювало незначні зміни в результаті можливої дії магнітного поля. Очевидно, що такі досліди варто проводити з менш мінералізованими розчинами.

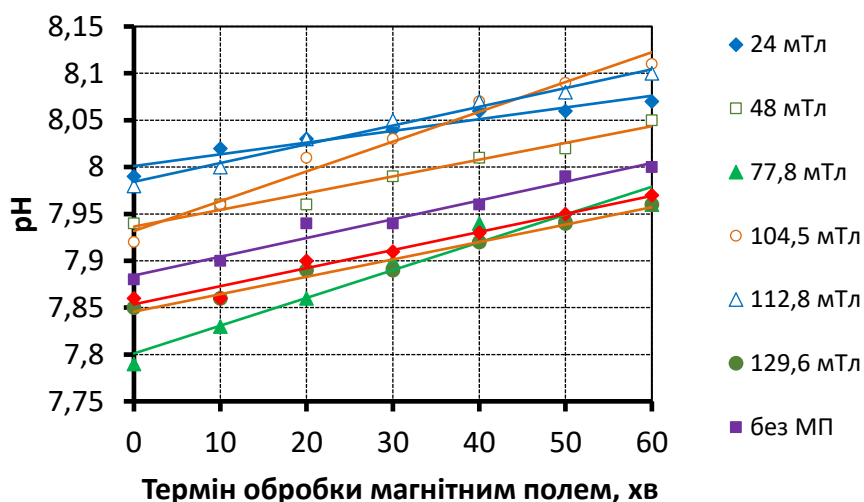


Рисунок 3.4 – Зміна величини водневого показника в залежності від терміну контакту з атмосферою при різних значеннях магнітної індукції (* - при зміні полярності магнітного поля; без МП – без обробки магнітним полем)

Щодо зміни рН, то тут зафіксовано постійне його збільшення при збільшенні терміну контакту з атмосферою та дії магнітного поля (рис. 3.4). І хоча такий ріст є досить незначним, він може свідчити про загальну тенденцію процесів, що проходять в розчині при контакті з атмосферою та дії магнітного поля. Причому, дія магнітного поля в цьому випадку або взагалі відсутня (що найбільш вірогідно з точки зору класичної фізики), або надзвичайно незначна. Результати вимірювання рН без обробки розчинів магнітним полем аналогічні результатам, отриманим при різних значеннях магнітної індукції. Як видно з рис. 3.4, не зафіксовано зміни результатів обробки водних розчинів зазначеного хімічного складу і при зміні полярності магнітного поля (графік, позначений *). Приведені вище результати

отримані на установці, зображеній на рис. 2.1 і свідчать про те, що постійне магнітне поле суттєво на фізико – хімічні властивості розчинів не впливає і результати такого впливу не можуть бути зафіксовані шляхом вимірювання питомої електропровідності та водневого показника.

Згідно сучасних уявлень, магнітне поле сильніше справляє вплив на рухомі розчини, на компоненти котрих можуть діяти різноманітні сили, наявні в рідкій фазі при перетині силових ліній магнітного поля [83]. Тому подальші наші дослідження проводили з рухомими розчинами на установці, зображеній на рис. 2.2. При цьому формування магнітного поля виконували шляхом набору кількох магнітів з проміжками між магнітами чи без них, однакової чи протилежної полярності і т.п. Результати таких досліджень представлені в табл. 3.1. Як видно з таблиці, встановити якусь залежність між інтенсивністю магнітного поля та основними параметрами обробленої ним жорсткої природної води неможливо. Приведені зміни знаходяться в межах похибок вимірювальних приладів. І ні збільшення шляху впливу магнітного поля, ні зміна полярності магнітів на отримані результати не впливають.

Виходячи із викладеного вище, в експериментах по дослідженню впливу магнітного поля на жорсткість води варто, на нашу думку, покладатися на результати безпосередніх аналізів вмісту іонів кальцію та магнію на різних етапах обробки. Але і тут може бути кілька варіантів. Найбільш близький до реальності варіант є розміщення нагрівача пристрою безпосередньо в модельному розчині. При цьому необхідно зважати, що частина іонів жорсткості залишатиметься в рідкій фазі, частина випадатиме у вигляді осаду і частина локалізуватиметься на нагрівачій поверхні. Аналізуючи зазначені три компоненти можливо чітко визначити ефективність магнітної обробки води.

Другий варіант передбачає нагрівання зразка модельного розчину до заданої температури джерелом, що розміщено ззовні ємкості – «водяна» чи «піщана» баня. В цьому випадку визначення розподілу твердої фази між осадом та накипом неможливий, оскільки матеріал посуду та її стан не відповідають реальним умовам. Тому можливо лише говорити про загальний стабілізаційний ефект магнітного поля.

А якщо зважити на те, що згідно сучасних уявлень дія магнітного поля полягає у відтермінуванні процесу кристалізації карбонату кальцію і формуванні кристалів не на теплогенеруючій поверхні, а в об'ємі робочого розчину, то загальне зниження жорсткості розчину не може в повній мірі описати ефективність магнітної обробки водних розчинів.

Таблиця 3.1 – Вплив магнітного поля на фізико-хімічні параметри водних розчинів

№ п/п	Магнітна індукція, мТл	Швидкість потoku, м/с	Зміна питомої електро- провідності, мкСм/см	Зміна рН, од
1	-	0,2	-	-
2	35,2		30	0,04
3	60,1		10	0,02
4	70,7		10	0,04
5	91,1		20	0,02
6	111,9		10	0,01
7	123,7		10	0,03
8*	67,2		50	0,03
9**	87,6		40	0,02

* - відстань між магнітами 5 мм; ** - зворотна полярність магнітів з відстанню між ними 5 мм

Виходячи із викладених вище міркувань, нами було вибрано для досліджень перший варіант аналізу. Для визначення оптимальних умов обробки модельних розчинів було проведено ряд додаткових досліджень. Перш за все, було встановлено вплив температури на кристалізацію карбонату кальцію та утворення накипу на нагрівачому елементі (рис. 3.5).

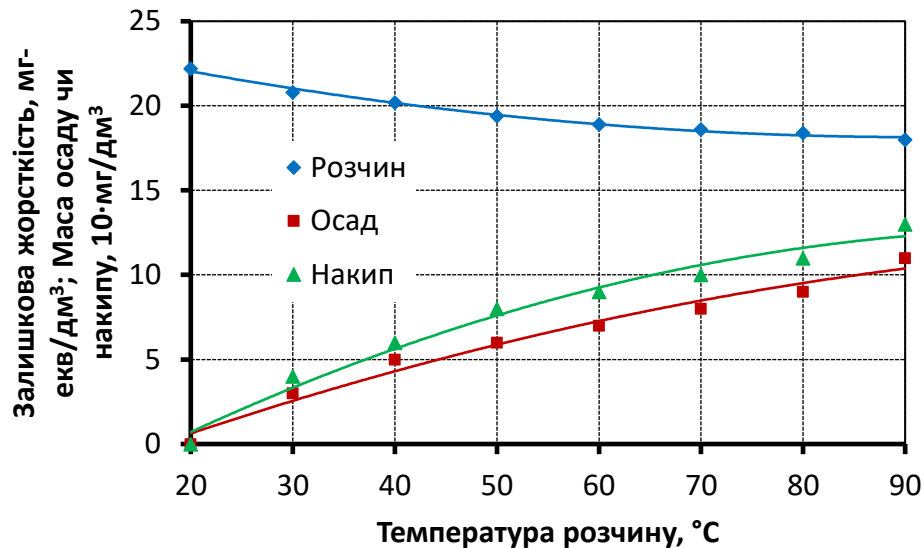


Рисунок 3.5 – Результати обробки модельного розчину при різних температурах (початкова жорсткість – 22,2 мг-екв/дм³; $t = 30$ хв)

Як видно з рис. 3.5, найбільш інтенсивно зазначені параметри змінюються в діапазоні 20 – 60 °C. Далі процес дещо стабілізується. Таким чином, для аналізу впливу магнітного поля на жорсткі води можна вибрати відповідну температуру. Очевидно, що із збільшенням жорсткості води температуру аналізу можна знижувати і навпаки. Кількість накипу, що осідає на теплогенеруючій поверхні, найпростіше визначати як різницю між початковою жорсткістю, залишковою жорсткістю та масою осаду, що випав в об’ємі розчину, приведеними до однакових одиниць. Найбільш прийнятною, на нашу думку, можна вважати температуру обробки модельних розчинів у 70 °C, яка є достатньою для кристалізації карбонату кальцію і дозволяє підтримувати близькі до виробничих умови.

Ще одним важливим параметром методики аналізу впливу магнітного поля на водні розчини є термін обробки при підвищених температурах. Проведені нами експерименти з модельними розчинами різної жорсткості на основі природної води показали, що термін нагрівання оброблених магнітним полем розчинів може бути обмеженим в 60 – 90 хв (рис. 3.6). Як видно з рисунку, протягом періоду в 60 хв кристалізується більшість сполук карбонату кальцію і подальше підтримання вказаної температури на залишкову жорсткість оброблених розчинів практично не впливає. Тому очевидно, що термін нагрівання модельних розчинів для отримання

адекватних результатів можна обмежити в 70 хв. Саме цей термін вибрано для наших подальших досліджень.

Проведений цикл досліджень процесів обробки водних розчинів магнітним полем показав, що для отримання адекватних результатів щодо зміни жорсткості води та інтенсивності накипоутворення варто враховувати суттєву зміну магнітної індукції в кожній конкретній точці простору, залежність фізико – хімічних параметрів розчинів від терміну контакту розчину з атмосферою, неможливість однорідної обробки зразків розчинів по всьому об'єму. Крім цього, величина змін окремих факторів в результаті обробки магнітним полем досить незначна, тому може нівелюватися на фоні впливу навколишнього середовища, похибки приладу, незначних змін в умовах дослідів і т.п. Очевидно, що отримані в процесі досліджень результати підлягають прискіпливому аналізу з точки зору впливу всіх факторів і в процесах вивчення впливу магнітного поля на водні розчини підвищеної жорсткості варто виходити із контролю безпосередніх параметрів – залишкової жорсткості води та інтенсивності утворення осаду і накипу. Інші параметри, в силу їх незначної зміни в процесі експериментів, не можуть слугувати індикатором таких змін.

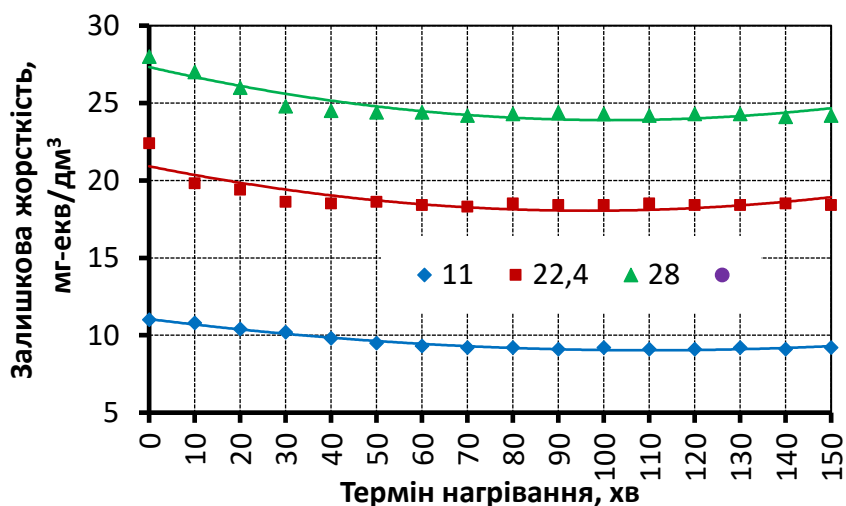


Рисунок 3.6 – Результати обробки модельного розчину при температурі 70 °С з різною початковою жорсткістю

Приведений висновок підтверджується дослідями, проведеними з модельними розчинами з кальцієвою жорсткістю $19,6 \text{ мг-екв/дм}^3$ та вмістом гідрокарбонатів $4,4 \text{ мг-екв/дм}^3$ при швидкості рідини $0,2 \text{ м/с}$ (рис. 3.7).

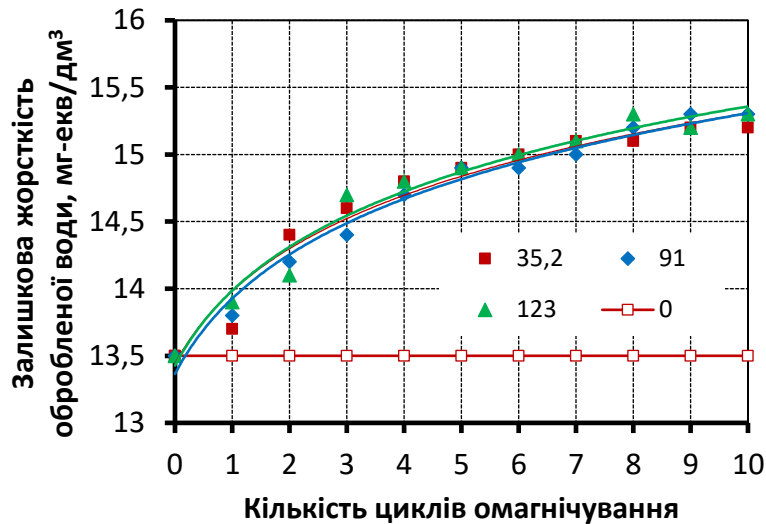


Рисунок 3.7 – Зміна залишкової жорсткості обробленого магнітним полем розчину від кількості циклів омагнічування при різній величині магнітної індукції (мТл)

Як видно з рис. 3.7, при 10 циклах омагнічування максимальне збільшення залишкової жорсткості складає 12,7 %. Після одного циклу воно в 10 разів менше. При цьому необхідно зважати на той факт, що в процесі пропускання модельного розчину через лабораторний магнітний апарат забезпечується його інтенсивний контакт з атмосферним повітрям, що також може супроводжуватися відповідними ефектами. Таким чином, для зазначеного складу розчину при обробці в апараті згідно рис. 2.2 не вдалося чітко підтвердити вплив саме магнітного поля на жорсткість обробленого розчину. Тому подальші дослідження варто проводити із модельними розчинами лише гідрокарбонату кальцію в умовах, максимально наближених до реальних.

3.3. Вивчення ефективності постійного магнітного поля

Найбільш невизначеним в технологіях обробки водних розчинів магнітним полем сьогодні є як оптимальна індукція магнітного поля, так і положення силових ліній при переміщенні розчинів через них та сукупності інших параметрів. Сьогодні

«головна увага приділяється створенню неоднорідного високоградієнтного магнітного поля достатньо високого напруження і довжини ділянки трубопроводу, де проходить взаємодія рідини з магнітним полем». Крім цього, для максимального ефекту необхідно забезпечувати умови, при яких рухома рідина перетинатиме максимально можливу кількість силових ліній магнітного поля, тобто, вони будуть розміщені перпендикулярно напрямку руху рідкої фази. Конкретні параметри заявлених характеристик суттєво різняться в різних дослідників. Так, максимальна ефективність обробки водних розчинів фіксується при величині магнітної індукції 0,065 Тл. Оптимальне значення магнітної індукції при обробці водних розчинів складає 0,07 – 0,2 Тл, але у даному випадку воно визначено на рівні 0,5 Тл. Такі ж невизначеності характерні і для іншого важливого параметру обробки розчинів в магнітному полі – швидкості потоку. Цей параметр коливається в межах 0,21 – 3,0 м/с і навіть 5 м/с. Такі суперечливі результати викликані як складністю фіксації реальних параметрів магнітного поля, так і відсутністю єдиного підходу щодо вибору хімічного складу розчинів для обробки. Тому очевидно, що в кожному конкретному випадку необхідно проводити новий цикл досліджень з конкретними системами омагнічування та конкретним хімічним складом розчинів.

Найбільш простим варіантом системи омагнічування водних розчинів є набір постійних круглих магнітів з отвором посередині, котрі розміщуються на трубі (рис. 2.2). Розміщення силових ліній такого магніту приведено на рис. 3.8.

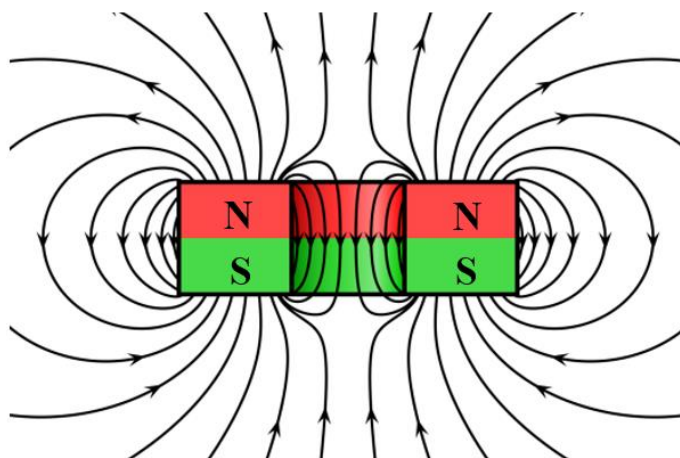


Рисунок 3.8 – Силові лінії круглого магніту з отвором посередині

Як видно, силові лінії найгустіше розміщені на внутрішній та зовнішній поверхнях магніту. Але потік рідини в центральній частині магніту має напрямок, що фактично співпадає з напрямком магнітних силових ліній. Тому очевидно, що силові лінії перетинаються потоком дуже мало і застосування такої системи омагнічування розчинів матиме низьку ефективність. Крім цього, важливим є також довжина шляху рідкої фази умовах дії магнітного поля.

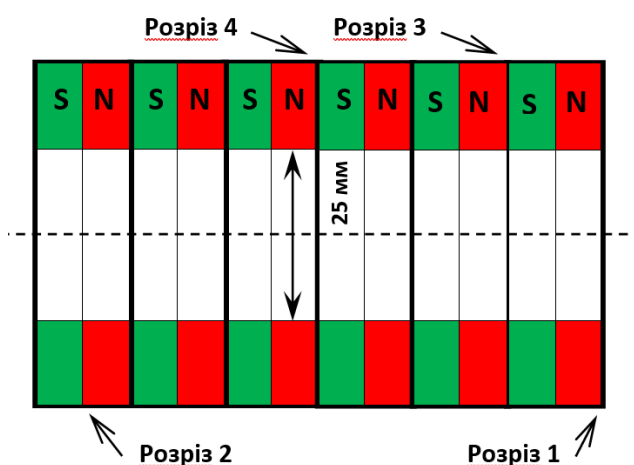


Рисунок 3.9 – Набір круглих магнітів з отвором посередині

Проведені нами вимірювання ортогональної до напрямку потоку рідкої фази складової магнітної індукції (рис. 3.9) показали, що максимальний рівень магнітної індукції фіксується лише на вихідних поверхнях набору (рис. 3.9 – «розріз 1» та рис. 3.10 – крива «розріз 1»). Причому, такий максимум характерний саме для пристінної області, де з точки зору гідравліки швидкість рідкої фази мінімальна. По мірі віддалення від вихідних розрізів величина магнітної індукції також знижується. Так, на межі полюсів для кожного магніту вона становить менше половини величини магнітної індукції на вході (рис. 3.10 – «розріз 2»). А на межі між окремими магнітами (рис. 3.10 – «розріз 3») знижується ще більше. Хоча все ж якась її величина зберігається, як ми вважаємо, за рахунок несиметричності кількості магнітів з обох сторін відповідного розрізу. Мінімальне значення магнітної індукції фіксується в центральній частині набору магнітів, особливо коли кількість магнітів парна (рис. 3.10 – «розріз 4»).

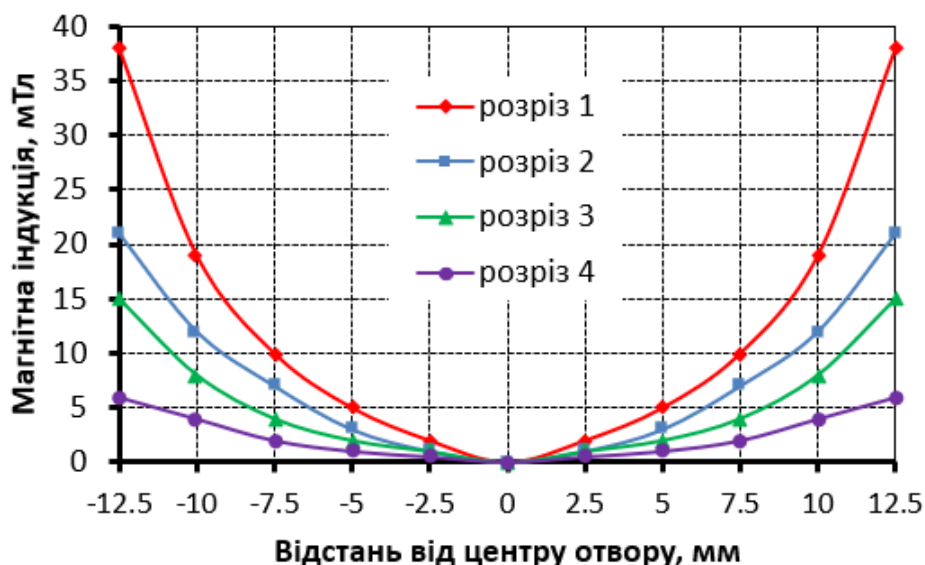


Рисунок 3.10 – Розподіл магнітної індукції в отворі набору круглих магнітів

В центральній частині отвору фіксується нульове значення ортогональних силових ліній, що може свідчити про паралельний напрямок руху рідкої фази та силових ліній. Таким чином, описаний набір магнітів є неприйнятним для обробки водних розчинів з метою їх стабілізації щодо накипоутворення.

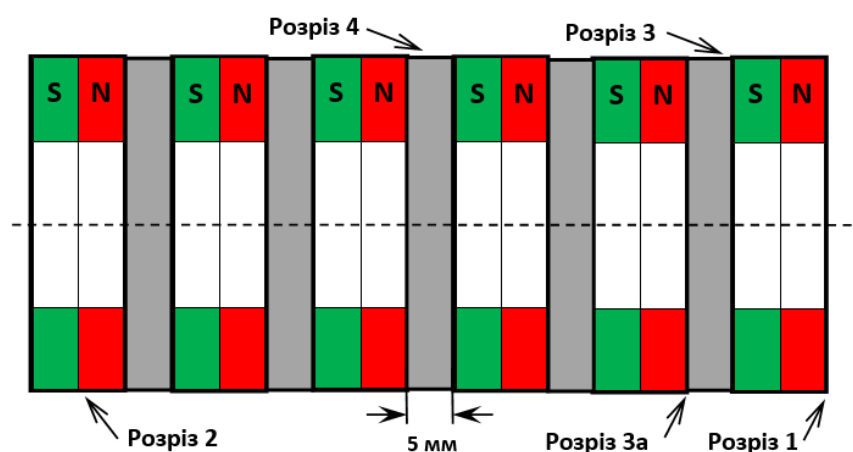


Рисунок 3.11 – Набір круглих магнітів з отвором посередині з проміжком 5 мм між ними

Для збільшення цього параметру нами було сформовано систему

омагнічування у відповідності з рис. 3.9, але з діамагнітними вставками товщиною 5 мм між окремими магнітами (рис. 3.11). В результаті довжина апарату зросла до 85 мм. Однак, більш важливим параметром такої системи є розподіл ортогональної складової магнітної індукції в центральній частині, де відбувається рух рідкої фази. Проведені вимірювання показали (рис. 3.12), що значення ортогональної складової магнітної індукції суттєво змінюється. На вході та виході з системи омагнічування параметри системи лишилися на рівні попередньої системи («розріз 1»). В той же час, на межі полюсів кожного магніту («розріз 2») фіксується стабільне нульове значення магнітної індукції, що можна пояснити відсутністю взаємного впливу сусідніх магнітів. Разом з тим, у всіх інших розрізах величина магнітної індукції в кілька разів перевищує її значення для попередньої системи (рис. 3.10). Таким чином, реалізується система омагнічування, в котрій нульові значення магнітної індукції на межі полюсів магнітів чергуються з максимальними значеннями в проміжках між ними, що є найбільш прийнятним з точки зору ефективності впливу на водні розчини.

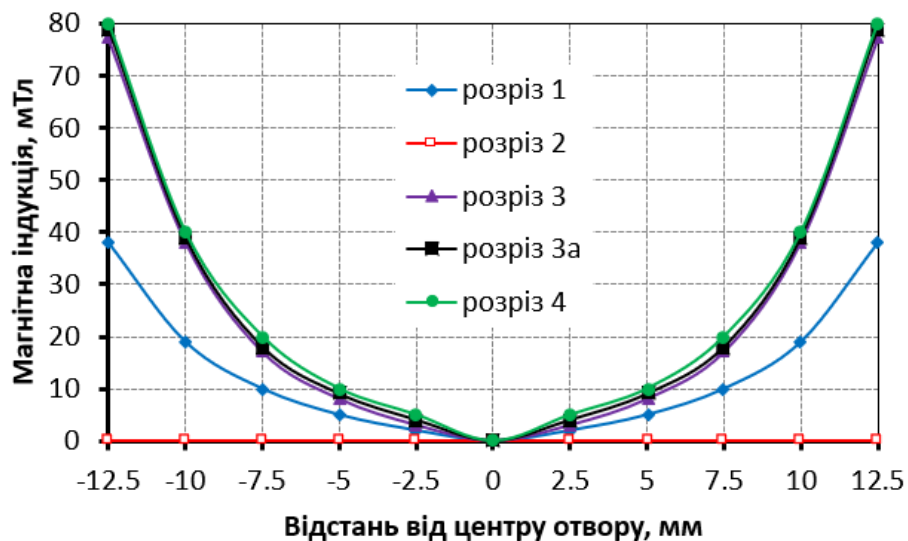


Рисунок 3.12 – Розподіл магнітної індукції в отворі набору круглих магнітів з проміжком між ними 5 мм

При зменшенні проміжку між магнітами до 3 мм чи збільшенні до 8 мм максимальне значення магнітної індукції залишається приблизно на тому ж рівні. Суттєво на значення магнітної індукції не впливає і зміна полюсів магнітів, тобто,

встановлення їх з проміжком в 5 мм, але оберненими однаковими полюсами один до одного. Таким чином, із розглянутих систем омагнічування найбільш прийнятною видається система із магнітів з проміжками в 5 мм (рис. 3.11).

Експерименти по стабілізації води при обробці в таких системах показали, що використання блоку магнітів, сформованих за схемою рис. 3.12, суттєво на вміст у воді іонів жорсткості не впливає. При використанні в якості модельних розчинів природної води з річки Здвиж зазначеного в розділі 2 хімічного складу з наступним корегуванням вмісту іонів кальцію до 16,3 мг-екв/дм³ та гідрокарбонатів до 15,1 мг-екв/дм³ після обробки протягом 70 хв. при температурі 70 °С залишкова жорсткість її знижувалася до 10,1 мг-екв/дм³. При пропусканні модельного розчину через систему магнітів (рис. 3.12) із швидкістю в межах 0 – 0,7 м/с не вдалося зафіксувати суттєвого впливу магнітного поля на залишкову жорсткість обробленого розчину. Зміна цього показника знаходилася в межах похибки хімічного аналізу. Так само не вдалося зафіксувати суттєвого впливу на залишкову жорсткість обробленого розчину і довжини ділянки намагнічування та величини магнітної індукції в межах, зазначених на рис. 3.12.

Незважаючи на отримані результати, ми вважаємо за необхідне продовжити розпочаті дослідження з метою визначення основних факторів впливу магнітного поля на водні розчини та можливості використання його для стабілізації природних та стічних вод. Подальші дослідження будуть присвячені вивченню впливу інтенсивності магнітного поля, швидкості руху води, початкової жорсткості води та її мінерального складу на ефективність обробки магнітним полем з метою зниження жорсткості та інтенсивності накипоутворення.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

4.1. Опис ідеї проєкту

Проект AquaMagnetNova спрямований на створення інноваційної системи екологічно чистої магнітної обробки води, яка забезпечує пом'якшення жорсткої води без використання хімічних реагентів. Основою технології є вплив постійного магнітного поля на іонні структури кальцію та магнію у воді, внаслідок чого змінюється їхня форма кристалізації, що запобігає утворенню накипу на поверхнях нагрівальних елементів, трубопроводах та промислового обладнання.

Ця технологія дає змогу зберігати природний мінеральний склад води, при цьому усуваючи її основну проблему — жорсткість. У результаті користувач отримує чистішу, м'якшу воду без втрати якості, а підприємства – менші витрати на обслуговування обладнання і зменшення шкідливого впливу на довкілля.

Мета проєкту – запровадити екологічно безпечну, технологічно інноваційну альтернативу традиційним методам водопом'якшення, яка знижує використання реагентів і скорочує викиди хімічних сполук у гідросферу. AquaMagnetNova поєднує науковий підхід із практичними потребами домогосподарств, підприємств і муніципальних систем водопостачання.

Проект базується на результатах інженерних і лабораторних досліджень у сфері магнітної обробки води, які довели ефективність даного методу у зменшенні жорсткості, попередженні накипу та продовженні терміну служби обладнання. Технологія може бути адаптована для різних масштабів споживання — від невеликих побутових систем до великих промислових установок.

Ключовими елементами технології AquaMagnetNova є система багатополосового магнітного поля, що генерує послідовні імпульси різної інтенсивності для максимального впливу на солі твердості, корпус із високоякісних екополімерів, стійкий до корозії, температури та тиску.

Комерціалізація технології AquaMagnetNova шляхом масового виробництва передбачає організацію серійного виробництва трьох лінійок продукції: побутових

пристроїв для квартир та приватних будинків, комерційних систем для готельно-ресторанного бізнесу та офісних центрів, а також промислових установок для підприємств ЖКГ та виробничих об'єктів.

Виробнича стратегія базуватиметься на принципах модульності - використанні уніфікованих магнітних блоків, що дозволить масштабувати виробництво та знизити собівартість. Для кожного сегменту будуть розроблені стандартизовані моделі з чітко визначеними технічними характеристиками, що дасть змогу оптимізувати виробничі лінії та логістичні процеси.

Основним каналом збуту стануть партнерські мережі через дистриб'юторів сантехнічного обладнання, будівельні гіпермаркети та онлайн-платформи. Для промислового напрямку планується пряма продаж через власний відділ з роботи з корпоративними клієнтами.

Масове виробництво дозволить досягти економії від масштабу, що зробить технологію доступною для широкого кола споживачів, зберігаючи при цьому високу якість та ефективність роботи всіх типів пристроїв.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
AquaMagnetNova — це інноваційна технологія магнітної водопідготовки, що базується на системі багат шарового магнітного поля. Вона генерує послідовні імпульси різної інтенсивності, які змінюють структуру солей твердості у воді, запобігаючи	Технологія може використовуватись у побутових системах водопостачання, на промислових підприємствах для захисту обладнання, а також у муніципальних системах як	Система забезпечує покращення якості води, відсутність накипу, зниження витрат на ремонт техніки та енергоспоживання. Вона проста в установці, не потребує підключення до електромережі чи витратних матеріалів,

утворенню накипу. Пристрій виготовлений із міцних екополімерів, стійких до корозії, температури та тиску.	екологічно безпечний етап попередньої водопідготовки. У перспективі — інтеграція в масштабні водопостачальні мережі через ліцензування технології.	має тривалий термін служби (понад 10 років) і відповідає сучасним стандартам енергоефективності, роблячи AquaMagnetNova одночасно зручною, надійною та економічно вигідною для користувачів.
--	---	--

Для споживачів технологія має численні переваги: побутові користувачі отримують чистішу воду без накипу та знижують витрати на обслуговування техніки, промислові підприємства — скорочують використання реагентів, подовжують термін служби обладнання та економлять енергію, а муніципалітети — впроваджують безпечний метод водопідготовки без шкоди довкіллю.



Рисунок 4.1 – Проєкт логотипу AquaMagnetNova

Таблиця 4.2 – Порівняння AquaMagnetNova з існуючими методами очищення води

Техніко-Економічні характеристики ідеї	Послуги/концепції конкурентів (потенційні)				W	N	S
	AquaMagnetNova (магнітна технологія)	Фізико-хімічні методи	Сорбційні та іонообмінні методи	Баромембранні методи			
Витрати і матеріали	Не потребує реагентів чи заміни фільтрів. Використовує постійне багатополосове магнітне поле, що не зношується.	Коагулянти, реагенти, фільтрувальні завантаження (активоване вугілля, аніоніти), хімічні домішки для підтримання ефективності очищення.	Сорбенти (активоване вугілля, іонообмінні смоли), реагенти для регенерації.	Мембрани (ультра-, нано-, осмотичні), антифулінгові агенти, хімічні реагенти для промивки мембран.			S
Вартість обслуговування	Дуже низька, оскільки немає витратних матеріалів і підключення до електромережі.	Висока через потребу в реагентах та частій заміні фільтрів.	Середня, потребує періодичної заміни сорбентів та регенерації.	Висока через необхідність заміни мембран і використання			S

			її смол.	хімічних реагентів.			
Ступінь вилучення солей твердості / запобігання накипу	Високий: змінює структуру солей кальцію та магнію, запобігає утворенню накипу без хімії.	Високий, але супроводжується утворенням осаду та відходів.	Високий, однак потребує частоті регенерації.	Високий, але стабільності тиску.		N	залежить від
Швидкість очищення / обробки	Висока, відбувається без затримки потоку води	Достатньо висока, але потребує часу на реакції.	Середня, обмежена швидкістю сорбції.	Дуже висока, але залежить від тиску та чистоти мембрани.		N	
Чутливість до параметрів вихідної води	Дуже висока	Висока	Висока	Висока	W		
Тривалість використання	Тривалий термін служби (10+ років),	Тривалий, але залежить від стану	Середній, смоли та фільтри	Невеликий, мембрани			S

тання системи	корпус із екополімерів стійкий до корозії, температури й тиску.	реагентів і корозії обладнання.	швидко зношуються при високій жорсткості води.	швидко забиваються та потребують регулярної заміни.			
Доказова база ефективності	Частково підтверджена, суперечлива	Висока	Висока	Дуже висока	W		
Загальна економічна ефективність	Висока: мінімальні витрати, тривалий термін служби, просте встановлення, відсутність обслуговування.	Середня, але з високими витратами на реагенти.	Середня, через потребу в регенерації.	Низька через високу собівартість і складність експлуатації.			S
Конкурентна зрілість технології	Низька (нова технологія)	Дуже висока	Висока	Дуже висока	W		

Сильні сторони проєкту AquaMagnetNova

- Відсутність витратних матеріалів, оскільки технологія використовує постійне багатопольове магнітне поле, що не потребує заміни або регенерації. Це

суттєво зменшує собівартість експлуатації порівняно з реагентними, сорбційними та мембранними методами.

- Надзвичайно низька вартість обслуговування, оскільки система не потребує ні реагентів, ні електроживлення, ні періодичного технічного обслуговування.
- Висока швидкість обробки, яка збігається зі швидкістю руху води в системі та не потребує часу для фільтрації чи проходження крізь мембрани.
- Тривалий термін експлуатації (10+ років) завдяки використанню матеріалів, стійких до корозії, температурних та гідравлічних навантажень.
- Висока загальна економічна ефективність, обумовлена відсутністю споживних матеріалів, низькою експлуатаційною вартістю та простотою інтеграції у водні системи.
- Екологічність технології, оскільки в процесі не утворюються відходи (як при регенерації смол або роботі мембран), що знижує антропогенне навантаження на довкілля.
- Стабільність проти забруднення мембранного типу, оскільки система не містить елементів, що здатні забиватися або деградувати від механічних домішок.

Слабкі сторони проєкту AquaMagnetNova

- Чутливість до параметрів вихідної води, зокрема вмісту заліза, великої кількості колоїдних частинок або зміни рН, що може знижувати повторюваність ефекту.
- Частково підтверджена та суперечлива доказова база, що пов'язано з відмінностями у параметрах магнітних установок, різною мінералізацією води і складністю відтворення результатів у масштабованих системах. Це знижує рівень довіри на ринку порівняно зі строго стандартизованими мембранними та хімічними методами.
- Низький рівень технологічної зрілості, оскільки метод відноситься до нових технологій і наразі не має усталеного нормативного регулювання та широкого промислового досвіду.

4.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

У цьому підрозділі буде проведений технологічний аудит технологій, які застосовуватимуться для реалізації очищення води за допомогою оптимальних доз коагулянтів та комбінованих методів фільтрації (табл. 4.3) [84].

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Використання багат шарової системи магнітного поля для зміни структури солей твердості.	Генерація змінних магнітних імпульсів різної інтенсивності для запобігання утворенню накипу.	Технологія частково відома, активно розвивається у сфері водопідготовки.	Доступна для розробки та інтеграції у виробництво.
2	Застосування корпусу з екополімерів, стійкого до корозії та тиску.	Використання сучасних термостійких полімерних матеріалів у виготовленні обладнання.	Технологія широко застосовується у виробництві водоочисного обладнання.	Висока доступність матеріалів і технологій.
3	Використання автономної	Застосування магнітів	Технологія апробована в	Повністю доступна на

	системи без підключення до електромережі .	постійної дії, що не потребують живлення.	подібних рішеннях.	ринку компонентів.
Обрана технологія, яка поєднує багатопарову систему магнітного поля для впливу на структуру солей твердості з використанням корпусу з екологічно стійких полімерів та автономної дії без потреби в електроживленні, дозволяє ефективно пом'якшувати жорстку воду без застосування хімічних реагентів. Зазначені технології є доступними на ринку та вже використовуються окремо в сучасних системах водопідготовки, що підтверджує їхню ефективність, надійність і безпечність. Проєкт AquaMagnetNova забезпечує покращення якості води, зменшення утворення накипу та продовження терміну служби обладнання, що робить його перспективним для широкого впровадження як у побутовому, так і у промисловому секторі.				

Виходячи з аналізу у таблиці 4.3, технологічна здійсненність проєкту є підтвердженою, що дає змогу продовжити розробку стартап-проєкту AquaMagnetNova.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проєкту

У цьому підрозділі проведено аналіз ринкового середовища з метою виявлення основних ризиків, загроз і потреб потенційних споживачів. Отримані результати дозволяють більш точно визначити напрями розвитку стартап-проєкту та зменшити можливі труднощі під час виходу на ринок (табл. 4.4) [85].

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап проєкту

Стан ринку (показники)	Характеристика
------------------------	----------------

Кількість головних гравців, од.	8–10 основних виробників систем водоочищення (Culligan, Ecowater, Ecosoft, Aquafilter та ін.)
Загальний обсяг продаж, млн грн	Орієнтовно 3 500–4 000 млн грн на рік (ринок систем водоочищення та екологічного обладнання в Україні)
Якісна оцінка динаміки ринку	Попит стабільно зростає завдяки зростанню екологічної свідомості, урбанізації та потребі у якісній воді
Наявність обмежень для входу	Середній рівень – необхідність сертифікації, конкуренція з міжнародними брендами, потреба у демонстрації ефективності технології
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Обов’язкове дотримання державних стандартів якості води (ДСТУ), санітарних норм, сертифікація обладнання для комунального сектору
Середня норма рентабельності в галузі (або % ринку)	15–20% залежно від сегменту (вищі показники у сфері побутових систем через нижчі витрати на виробництво)

Ринок систем очищення води в Україні перебуває на етапі зростання та демонструє високий потенціал для інноваційних екологічних технологій. Попит на екологічно чисті рішення без реагентів, такі як магнітна обробка води, зростатиме у зв’язку з посиленням екологічних вимог, підвищенням обізнаності споживачів і тенденцією до сталого розвитку. Ринок є конкурентним, проте залишається привабливим завдяки перспективній нормі рентабельності та можливості зайняти нішу екологічних безреагентних технологій.

Далі визначимо основні групи потенційних клієнтів, їх ключові характеристики та орієнтовні вимоги до технології (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

Потреба, яку	Цільова аудиторія	Відмінності у	Вимоги споживачів
--------------	-------------------	---------------	-------------------

формує ринок		поведінці потенційних клієнтів	до товару
Зменшення жорсткості води у побуті, захист техніки від накипу	Власники приватних будинків, квартири з автономним водопостачанням.	Активно шукають ефективні та недорогі рішення, орієнтовані на простоту використання.	Простота встановлення, надійність, екологічність, доступна ціна.
Екологічна водопідготов ка у комунальних закладах	Комунальні установи: дитсадки, школи, лікарні.	Орієнтовані на безпечні та сертифіковані рішення, мають довгий цикл ухвалення рішень.	Висока ефективність, сертифікація, відповідність санітарним нормам.
Оптимізація витрат на обслуговува ння водного обладнання	Малий бізнес: автомийки, пральні, кав'ярні, міні- виробництва.	Прагнуть зменшити експлуатаційні витрати, готові впроваджувати інновації за наявності економічного ефекту.	Економічність, енергоефективність , довговічність обладнання.
Використанн я	Еко-споживачі: домогосподарства з	Активно підтримують	Екологічність, естетичність,

екологічних технологій у побуті	високою екологічною свідомістю.	інноваційні продукти, готові платити більше за “зелені” рішення.	доведена ефективність технології.
Покращення якості води для клієнтів та персоналу	Готельно-ресторанний бізнес, бази відпочинку.	Орієнтуються на комфорт гостей, потребують безперебійної роботи систем.	Надійність, легкість інтеграції, сервісне обслуговування, привабливий дизайн.

Як показано в таблиці 4.5, потенційна аудиторія стартапу "AquaMagnetNova" є різномірною, проте об'єднана спільними потребами — підвищення якості води, зниження витрат на обслуговування та впровадження екологічних технологій.

Найбільший потенціал для виходу на ринок мають власники приватних будинків, еко-споживачі та малий бізнес, які демонструють високу готовність до сприйняття інновацій та мають реальну економічну мотивацію для впровадження безреагентних систем пом'якшення води.

Комунальні установи та готельно-ресторанний сектор залишаються стратегічно важливими, але потребують додаткової сертифікації, демонстрацій ефективності та побудови довіри через B2B-комунікацію.

Тепер проведемо аналіз ринкового середовища, що включає фактори загроз та фактори можливостей для впровадження технології.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Економічна	Зниження купівельної	Диверсифікація джерел

	нестабільність	спроможності населення, скорочення інвестиційної активності.	фінансування, фокус на енергоефективності та довгостроковій економії для клієнтів.
2	Зростання тарифів на енергоносії та комунальні послуги	Підвищення витрат домогосподарств і підприємств.	Позиціонування продукту як способу зниження експлуатаційних витрат; акцент на економічній вигоді.
3	Бюрократичні бар'єри та складна сертифікація	Тривалий процес погодження нових технологій у державних структурах.	Попередня підготовка технічної документації, співпраця з профільними інститутами та консультантами.
4	Дефіцит водних ресурсів і зміна регулювання	Нові обмеження на технології водопідготовки або зміну стандартів.	Гнучке оновлення конструкції пристроїв, адаптація технології до різних джерел води.
5	Консерватизм споживачів та недовіра до нових технологій	Уповільнення темпів проникнення на ринок, перевага традиційних систем очищення.	Проведення демонстрацій, пілотних проєктів, освітніх кампаній для споживачів.
6	Старіння населення	Низька готовність старших користувачів до сприйняття інноваційних технологій.	Спрощення конструкції, розробка інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу та дизайну.
7	Висока вартість досліджень і	Значні фінансові витрати на	Пошук грантів, партнерство з науковими

	розробок (R&D)	вдосконалення технології та тестування.	установами, залучення венчурного капіталу.
8	Військові ризики та нестабільність постачання	Порушення логістики, відтік кадрів, затримки у виробництві.	Розподіл виробництва між регіонами, часткова локалізація постачальників, гнучке планування.

Проведений аналіз показує, що найбільш вагомими загрозами для стартапу "AquaMagnetNova" є економічні та регуляторні чинники, які можуть сповільнювати темпи виходу продукту на ринок. Водночас більшість із цих ризиків може бути мінімізована через диверсифікацію фінансування, стратегічні партнерства, акцент на освітній роботі з клієнтами та гнучкість у технологічних рішеннях.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст зможливості	Можлива реакція компанії
1	Попит на економічно вигідні технології	Споживачі шукають рішення, що знижують експлуатаційні витрати	Акцент на довгостроковій економії, підготовка порівняльних розрахунків ефективності
2	Регулювання у сфері захисту довкілля	Посилення законодавства стимулює впровадження екологічно безпечних технологій	Сертифікація продукту відповідно до “зелених” стандартів, участь у програмах екологічного аудиту
3	Державні програми	Наявність грантів і пільгових кредитів для	Подання заявок на грантові програми,

	підтримки екологічних інновацій	стартапів у сфері “зеленої” енергетики та водоочищення	співпраця з профільними фондами
4	Погіршення якості природних водних ресурсів	Підвищення потреби у високоефективних системах очищення	Розробка пристроїв для різних типів води, підвищення універсальності технології
5	Посилення екологічних норм щодо забруднення води	Зростає попит на технології, які допомагають підприємствам дотримуватись стандартів	Орієнтація на B2B-сегмент, пропозиція рішень для малого та середнього бізнесу
6	Урбанізація та зростання міст	Збільшення навантаження на системи водопостачання, потреба у локальних рішеннях	Розробка компактних модулів для квартир і житлових комплексів
7	Зростання кількості приватних будинків	Підвищення попиту на автономні системи водопідготовки	Просування рішень для приватного сектору, співпраця з будівельними компаніями
8	Зростання екологічної свідомості населення	Користувачі готові інвестувати у “зелені” технології	Використання екологічного маркетингу, формування іміджу відповідального бренду
9	Збільшення попиту на інноваційні рішення	Суспільство відкрите до нових технологій і стартапів	Участь у виставках, демонстраційних проєктах, публічних пітчах
10	Швидкий	Можливість інтеграції	Співпраця з науковими

розвиток технологій очищення води	нових матеріалів і методів обробки	установами, модернізація технологічної бази
-----------------------------------	------------------------------------	---

Надалі проводимо аналіз пропозиції (табл. 4.8), який допоможе визначити загальні риси конкурентного середовища та визначити ключові напрями розвитку стартапу “AquaMagnetNova”.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Олігополія	Ринок водоочищення контролюється кількома великими компаніями, що пропонують традиційні фільтраційні системи.	Необхідність виділення через унікальність технології безреагентного очищення, позиціонування як “альтернатива хімічним методам”.
Національний та міжнародний	Присутність міжнародних брендів із високими стандартами якості та сервісу.	Формування іміджу надійного українського виробника, потенційна співпраця з європейськими дистриб’юторами.
Внутрішньогалузева	Активний розвиток стартапів у сфері “зеленої” технології та водоочищення.	Вдосконалення власного продукту, наголос на екологічність, наукову обґрунтованість та простоту використання.
Товарно-родова	Альтернативні рішення:	Позиціонування

	зворотний осмос, іонний обмін, ультрафільтрація.	AquaMagnetNova як енергоефективного, безреагентного і довготривалого рішення.
Нецінова	Клієнти орієнтуються не лише на ціну, а й на інноваційність, наукову перевіреність і дизайн продукту.	Інвестування у R&D, створення привабливого дизайну, проведення тестувань з публічними результатами.
Марочна	Поширення довіри до відомих брендів у сфері очищення води.	Розробка впізнаваного бренду з акцентом на екологічність, українське виробництво та технологічність.
Технологічна	Швидкий розвиток нових матеріалів і принципів магнітної обробки води.	Постійне оновлення технології, захист інтелектуальної власності, реєстрація патентів.

Ступеневий аналіз конкуренції показує, що ринок технологій водоочищення характеризується високим рівнем насиченості та домінуванням відомих гравців. Однак у цьому середовищі існує значна ніша для інноваційних, безреагентних і енергоефективних рішень, які пропонує стартап AquaMagnetNova. Основною конкурентною перевагою компанії є поєднання екологічності, технологічної новизни та економічної доцільності, що дозволяє ефективно конкурувати як у національному, так і на міжнародному ринку.

Для глибшого аналізу ринкового середовища й умов конкуренції в галузі застосовано модель п'яти сил М. Портера (табл. 4.9) [86].

Таблиця 4.9 – Дослідження конкуренції у галузі за М. Портером

Аналізові складові	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Приклади	AquaFilter, EcoWater Ukraine, WaterMaster, Culligan, Pentair.	Стартапи, що розробляють безреагентні або комбіновані системи очищення води.	Постачальники магнітних елементів, корпусних матеріалів, електроніки для автоматизації	Приватні домоволодіння, ЖКГ, готельний сектор, малі підприємства.	Мембранні фільтри, зворотний осмос, іонообмінні системи, електрохімічні методи.
Результат	Інтенсивність конкуренції: середня. На ринку діють сильні гравці, але технологія магнітної обробки ще не насичена пропозиціями, що створює можливість	Бар'єри для входу: помірно високі. Необхідні інвестиції у дослідження, сертифікацію та маркетинг, проте технологічна новизна забезпечує перевагу.	Сила постачальників: середня. Основні компоненти доступні, але висока якість магнітів і матеріалів обмежена кількома виробниками.	Сила покупців: висока. Клієнти порівнюють вартість і зручність використання; продукт має бути простим, ефективним і екологічним.	Загроза замінників: середня. Традиційні фільтраційні системи мають довіру споживачів, однак вони потребують витрат на реагенти та обслуговування.

	зайняти власну нішу.				
--	-------------------------	--	--	--	--

Галузь водоочищення має помірний рівень конкурентної напруги. Незважаючи на наявність сильних міжнародних і локальних гравців, сегмент безреагентних технологій залишається недостатньо освоєним. Стартап AquaMagnetNova може зайняти стратегічно вигідну позицію, використовуючи свою головну перевагу — екологічну, енергоефективну та економічну технологію очищення води. Для зміцнення позицій на ринку доцільно зосередитись на партнерстві з науковими установами, локальними виробниками комплектуючих, а також на створенні іміджу інноваційного українського бренду.

У таблиці 4.10 наведено та обґрунтовано ключові фактори конкурентоспроможності [87].

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ /п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Екологічність	Споживачі дедалі частіше віддають перевагу рішенням, які не завдають шкоди довкіллю. У сфері водопідготовки це означає мінімізацію використання реагентів і шкідливих викидів.
2	Економічність	Більшість клієнтів прагне мінімізувати витрати на експлуатацію. Системи, що не потребують регулярної заміни фільтрів або реагентів, є привабливішими в довгостроковій перспективі.
3	Інноваційність технологій	Нові технології приваблюють інноваторів та споживачів, орієнтованих на новизну. Водночас значна частина клієнтів надає перевагу перевіреним рішенням, що вже

		мають позитивні відгуки та довший час на ринку.
4	Зниження жорсткості води (Ca^{2+} , Mg^{2+})	Побутовим споживачам важливо, щоб у воді не накопичувався накип, який шкодить техніці, плиті, пральній машині, бойлеру. Для бізнес-клієнтів (готелі, виробництва) це питання ще й витрат на обслуговування. Висока жорсткість також погіршує прання, миття посуду та роботу миючих засобів. Клієнт очікує м'яку воду без потреби в додаткових реагентах.
5	Відсутність запаху	Запах води — перше, що помічає споживач. Неприємний запах викликає недовіру та небажання використовувати воду для пиття, приготування їжі або гігієни. Для комерційних користувачів (кафе, ресторанів, клінік) це також репутаційний ризик. Клієнт очікує, що вода не матиме сторонніх запахів без додаткових фільтрів чи хімії.
6	Прозорість та відсутність домішок	Користувач хоче бачити, що вода "чиста" — прозора, без візуально помітних частинок. Наявність домішок знижує довіру навіть при високих показниках якості за лабораторними даними. Побутові користувачі асоціюють прозорість з безпечністю. Для бізнесу — це ключ до позитивного враження клієнта (наприклад, у готелях, SPA).
7	Стабільність ефекту з часом	Споживач очікує, що ефективність системи залишатиметься стабільною впродовж тривалого часу, без необхідності частої заміни елементів або технічного втручання. Це важливо як для домашніх користувачів (які не хочуть часто обслуговувати обладнання), так і для бізнесу, де простої систем — це збитки. Потенційний клієнт обирає рішення, яке працює надійно без втрати

		якості води через кілька місяців.
8	Простота використання	Більшість побутових користувачів очікує, що обладнання буде простим у встановленні, не вимагатиме обслуговування чи спеціальної підготовки персоналу.
9	Адаптивність сайту	Зручний сайт із адаптацією до мобільних пристроїв, мовною локалізацією, інтерактивними елементами та простотою навігації є важливим у процесі вибору постачальника та прийнятті рішення про покупку.
10	Зручність придбання	Споживачі віддають перевагу постачальникам із локальним виробництвом, короткими термінами доставки, доступною точкою продажу, різними способами оплати.

На основі наведених у таблиці 4.10 факторів можна зробити висновок, що конкурентоспроможність технології AquaMagnetNova визначається не лише її технічними характеристиками, а й здатністю відповідати сучасним споживчим очікуванням.

Ключовими чинниками успіху є екологічність, економічність та стабільність ефекту, оскільки саме вони формують довгострокову цінність продукту для побутових і бізнес-клієнтів. Водночас важливу роль відіграють якість води (відсутність запаху, прозорість, зниження жорсткості) та зручність користування — ці параметри безпосередньо впливають на сприйняття продукту кінцевим споживачем.

Додаткові фактори — адаптивність і зручність придбання — підсилюють позиції стартапу на ринку, адже спрощують шлях клієнта від ознайомлення з технологією до покупки. Отже, для забезпечення високої конкурентоспроможності AquaMagnetNova доцільно робити акцент на поєднанні інноваційності, простоти та екологічності із зручним користувацьким досвідом і доступністю продукту.

Наступним кроком здійснюється порівняльний аналіз (табл. 4.11) [88], у якому будуть визначені переваги та недоліки нової технології очищення води у порівнянні

з головними конкурентами на ринку.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг товарів- конкурентів у порівнянні з AquaMagnetNova						
		Іонообмінні фільтри EcoSoft (x) Зворотний осмос Aquafilter(*)						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Екологічність	*	x					
2	Економічність			*		x		
3	Інноваційність технології			x*				
4	Зниження жорсткості води (Ca ²⁺ , Mg ²⁺)						*	x
5	Відсутність запаху				x	*		
6	Прозорість та відсутність домішок			x				*
7	Стабільність ефекту з часом	x	*					
8	Простота використання			x				
9	Адаптивність				x*			
10	Зручність придбання						x*	

Аналіз таблиці 4.11 свідчить, що технологія AquaMagnetNova має значні конкурентні переваги, зокрема високу екологічність, адже не потребує використання хімічних реагентів, що робить її безпечнішою для довкілля порівняно з іонообмінними фільтрами та системами зворотного осмосу. Вона вирізняється інноваційністю, оскільки базується на принципі магнітної обробки води, а також

характеризується зручністю та адаптивністю у використанні – пристрій простий в експлуатації, доступний для придбання онлайн і підтримує різні канали продажу.

AquaMagnetNova забезпечує стабільний ефект пом'якшення води з часом, не потребує частого технічного обслуговування. У порівнянні з конкурентами, іонообмінні фільтри EcoSoft демонструють добру ефективність у зниженні жорсткості води, однак поступаються за рівнем екологічності та інноваційності, тоді як системи зворотного осмосу Aquafilter забезпечують високу чистоту води, але є менш економічними та екологічними.

Проект займає оптимальну позицію між традиційними іонообмінними системами та дорогими установками зворотного осмосу, поєднуючи екологічність, інноваційність, простоту використання та привабливу ціну.

Аналіз внутрішніх сильних і слабких сторін, а також зовнішніх можливостей і загроз дав змогу сформулювати SWOT-аналіз нашого стартап-проекту. Наступним етапом є побудова матриці Strengths, Weaknesses, Opportunities та Threats (табл. 4.12) [89], що забезпечить комплексне оцінювання ринкових перспектив розвитку проекту.

Сильні сторони проекту:

- Висока екологічність – не потребує хімічних реагентів, безпечна для довкілля.
- Інноваційність технології – магнітна обробка води як унікальна альтернатива традиційним методам.
- Простота та зручність використання – легка експлуатація, доступна покупка онлайн, адаптивність під різні канали продажу.
- Стабільний ефект пом'якшення води – не потребує частого технічного обслуговування.
- Оптимальне поєднання ціни та якості – позиціонується між дорогими системами зворотного осмосу та традиційними іонообмінними фільтрами.

Слабкі сторони проекту:

- Менше ефективне видалення жорсткості води порівняно з іонообмінними фільтрами EcoSoft.
- Не досягає такої високої чистоти води (прозорості та відсутності домішок), як системи зворотного осмосу Aquafilter.

Таблиця 4.12 – SWOT-аналіз стартап проекту

СИЛЬНІ СТОРОНИ	СЛАБКІ СТОРОНИ
1. Екологічність 2. Економічність 3. Інноваційність технології 4. Стабільність ефекту з часом 5. Простота використання	1. Зниження жорсткості води (Ca^{2+}, Mg^{2+}) 2. Відсутність запаху 3. Прозорість та відсутність домішок 4. Адаптивність 5. Зручність придбання 6. Частково підтверджена та суперечлива доказова база ефективності 7. Чутливість до параметрів вихідної води
МОЖЛИВОСТІ	ПРОБЛЕМИ
1. Попит на економічно вигідні технології 2. Регулювання у сфері захисту довкілля 3. Державні програми підтримки екологічних інновацій 4. Погіршення якості природних водних ресурсів	1. Економічна нестабільність 2. Зростання комунальних тарифів 3. Бюрократичні перешкоди для сертифікації 4. Ризик дефіциту водних ресурсів 5. Старіння населення

5. Посилення екологічних норм щодо забруднення води	6. Звичка використовувати традиційні методи очищення води
6. Урбанізація та зростання міст	
7. Зростання кількості приватних будинків	7. Високі витрати на R&D
8. Зростання свідомості щодо охорони довкілля	Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи
9. Збільшення попиту на інноваційні рішення	
10. Швидкий розвиток технологій очищення води	
11. Тренд на автоматизацію процесів	

Отже, проведений SWOT-аналіз стартап-проекту AquaMagnetNova засвідчує наявність значного потенціалу для успішного виходу на ринок і подальшого розвитку. Серед основних сильних сторін проекту виділяються його екологічність, економічність, інноваційність технології та простота у використанні, що забезпечує конкурентну перевагу над традиційними системами очищення води. Водночас наявні слабкі сторони, пов'язані з меншою ефективністю у видаленні певних іонів (Ca^{2+} , Mg^{2+}) та показниках прозорості, можуть бути компенсовані вдосконаленням технології та технічними поліпшеннями.

Можливості ринку відкриваються завдяки зростанню попиту на екологічні та енергоефективні рішення, посиленню екологічних норм, урбанізації, державним програмам підтримки інновацій і зростанню еко-свідомості населення. Водночас основними загрозами залишаються економічна нестабільність, складні процедури сертифікації, висока вартість досліджень і традиційна прихильність споживачів до звичних методів очищення води.

У підсумку, AquaMagnetNova має стійкі передумови для формування конкурентоспроможного продукту на ринку, особливо за умови активної роботи над удосконаленням технологічних аспектів, оптимізацією витрат і посиленням

маркетингової стратегії в напрямі екологічності та інноваційності.

Наступним етапом є розробка альтернативних ринкових стратегій (табл. 4.13) [90], що дозволить забезпечити ефективне просування технології на ринок з урахуванням можливих ризиків та викликів зовнішнього середовища.

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап проєкту

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Створення власного виробництва реагентів для заміни імпорتنих аналогів	Висока, за умови залучення інвесторів	3–5 років
Розширення технології для фільтрації додаткових типів забруднень	Висока, за умови залучення інвесторів	1–2 роки
Зменшення розмірів пристрою та оптимізація для зручного транспортування	Потребує власних ресурсів, інвестори не потрібні	1–2 роки
Адаптація технології під специфічні потреби окремих клієнтів	Додаткові ресурси не потрібні	6–12 місяців

Аналіз альтернативних ринкових стратегій показує, що стартап AquaMagnetNova має кілька перспективних напрямів розвитку, які різняться за термінами реалізації та потребою у ресурсах. Найбільш оперативною та ресурсно доступною є стратегія адаптації технології під потреби окремих клієнтів, що дозволить швидко реагувати на запити ринку та зміцнити клієнтську базу.

У середньостроковій перспективі доцільним є розширення функціональності технології та оптимізація конструкції для зручного транспортування, що підвищить конкурентоспроможність продукту. Довгостроковою метою може стати створення власного виробництва реагентів, що забезпечить незалежність від імпорتنих

постачальників і зміцнить позиції компанії на ринку.

Послідовна реалізація зазначених стратегій сприятиме сталому розвитку проєкту та підвищенню його ринкової привабливості.

4.4. Створення ринкової стратегії проєкту

Для формування ефективної ринкової стратегії визначено цільові групи потенційних споживачів та їх ключові потреби (табл. 4.14) [91].

Таблиця 4.14 – Формування цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Власники приватних будинків у містах та селах, які використовують колодязну або свердловинну воду.	Висока – потребують покращення якості води без витрат на реагенти.	Високий – постійний попит на пристрої для очищення води, особливо в регіонах з жорсткою водою.	Середня – конкурують прості фільтри та іонні системи.	Висока – легко дістатися до споживача через онлайн-продажі та локальних дилерів.
2	Комунальні установи: дитсадки,	Низька – потрібне погодження,	Високий – великі обсяги споживання	Висока – конкуренція серед	Низька – бюрократія та тендерні

	школи, лікарні, соціальні заклади.	сертифікація , довіра до нових технологій.	води, але складний процес впровадження.	систем, що вже сертифікова ні.	обмеження.
3	Малий бізнес: автомийки, пральні, кав'ярні, міні- виробництва.	Висока – зацікавлені в зниженні витрат на жорстку воду та захист обладнання.	Середній – залежить від масштабів діяльності та обізнаності.	Висока – конкуренція з побутовими фільтрами та промислови ми системами.	Середня – потребує B2B- комунікації .
4	Еко- споживачі: домогоспода рства з високою екологічною свідомістю, що орієнтовані на сталий стиль життя.	Висока – відкриті до нових екологічних рішень.	Середній – залежить від рівня доходу та доступності продукту.	Низька – специфічна аудиторія з вузьким вибором.	Висока – активна онлайн- аудиторія, схильна до електронно ї комерції.
5	Готельно- ресторанний бізнес, готелі та бази відпочинку.	Середня – потребують надійного рішення для якості води в побуті та	Середній – залежить від рівня сервісу, статусу та сезонності	Середня – частина вже користується фільтраційни ми системами	Середня – потребує комерційни х переговорі в і

		харчоблоці.			демонстрацій.
Які цільові групи обрано: Власники приватних будинків, Комунальні установи, Малий бізнес, Еко-споживачі.					

Проведений аналіз таблиці 4.14 дозволив ідентифікувати п'ять перспективних сегментів споживачів, які мають потенціал для впровадження інноваційної безреагентної технології пом'якшення води. Найбільш перспективними виявилися власники приватних будинків, еко-споживачі та малий бізнес — через високу готовність до сприйняття екологічних рішень, значний потенційний попит, відносно невисоку конкуренцію та простоту входу в сегмент. Комунальні установи, попри високий обсяг споживання води, характеризуються низькою готовністю до змін через регуляторні бар'єри та складність входу в сегмент. Готельно-ресторанний бізнес має середній потенціал, однак його успішність залежатиме від цільових комунікацій та якості B2B-переговорів. На основі цих характеристик було обрано чотири цільові сегменти, які мають як потенціал зростання, так і стратегічну цінність для побудови лояльної клієнтської бази.

На основі аналізу цільових сегментів споживачів розроблено базову стратегію розвитку стартап-проєкту (табл. 4.15) [92].

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренти-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Базова стратегія розвитку
--------------------------------------	---------------------------	---	--------------------------------------	---------------------------

Вихід на ринок з інноваційним продуктом для B2C, B2B, муніципального сектору.	Селективна — спеціалізація на екологічно орієнтованих сегментах.	Екологічність, безреагентна технологія, зниження витрат споживача, простота встановлення, відповідність ЦСР.	Середня — присутні відомі гравці з реагентними мембранними рішеннями.	Стратегія спеціалізації (з елементами диференціації).
---	--	--	---	---

Для обраних цільових сегментів розроблено базову стратегію розвитку (табл. 4.15), яка передбачає селективне охоплення ринку з фокусом на екологічно свідомі групи споживачів. Такий підхід дозволяє уникати надмірної розпорошеності ресурсів та сфокусуватись на сегментах, де споживачі найбільш відкриті до інновацій і демонструють високу зацікавленість у сталих технологіях. Конкурентоспроможність стартапу зумовлена його ключовими перевагами — безреагентністю, простотою встановлення, відповідністю Цілям сталого розвитку (ЦСР) та потенціалом для зниження експлуатаційних витрат. Враховуючи середню інтенсивність конкуренції, було обрано стратегію спеціалізації з елементами диференціації, яка дозволяє зайняти чітко окреслену нішу на ринку з можливістю поступового розширення.

Результати аналізу цільових груп потенційних клієнтів дали змогу сформувати базову стратегію конкурентної поведінки (табл. 4.16) [93].

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Інтенсивність конкуренції в сегментах	Стратегія конкурентної поведінки
--	---	---	---------------------------------------	----------------------------------

	у конкурентів?			
Так, у частині безреагентних екологічних рішень на базі інноваційного магнітного методу.	Переважно шукати нових споживачів (домогосподарств, муніципалітети, підприємства).	Ні. Пропонується принципово інший підхід до пом'якшення води.	Середня.	Стратегія лідера: розширення первинного попиту.

Відповідно до таблиці 4.16, стартап AquaMagnetNova позиціонується як першопроходець у впровадженні екологічно безпечних рішень на основі магнітної технології. Його унікальна пропозиція не копіює існуючі рішення, а, навпаки, формує нову нішу в сфері очищення жорсткої води. Основна стратегія конкурентної поведінки — стратегія лідера, орієнтована на розширення первинного попиту. Такий підхід передбачає активне формування нового ринку, освітню роботу з цільовими сегментами, акцент на інноваційності та просування екологічної цінності продукту. У поєднанні з помірною конкуренцією в сегменті, ця стратегія дозволяє не лише ефективно зайти на ринок, але й встановити стандарт у сфері безреагентних технологій.

Узагальнення даних, наведених у таблицях 4.14, 4.15 та 4.16, дозволило сформулювати стратегію позиціонування (табл. 4.17), спрямовану на створення впізнаваної ринкової позиції для потенційних клієнтів.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного підприємства
-------------------------------------	---------------------------	--	--

			роєкту (три ключо- вих)
Екологічність, енергоефектив ність, відсутність хімікатів.	Стратегія фокусуван ня на екологічни х інноваціях (нішова стратегія).	Безреагентна технологія, Відповідає принципам сталого розвитку, Низька вартість експлуатації, Інноваційність технології, Стабільність ефекту з часом, Простота використання.	"Інноваційне пом'якшення для екологічної економії" "Технологія сталого майбутнього" "М'яка вода без реагентів".

На основі характеристик обраних сегментів і вимог до продукту у таблицях 4.15, 4.16 та 4.17 сформовано комплексну стратегію позиціонування, яка відображає ключові асоціації, що мають бути закріплені у свідомості споживачів. Основними стали:

"Інноваційне пом'якшення для екологічної економії" — підкреслює економічну та екологічну вигоду;

"Технологія сталого майбутнього" — асоціює продукт з глобальними цілями сталого розвитку;

"М'яка вода без реагентів" — проста та зрозуміла комунікація основної технологічної переваги.

Ці асоціації відповідають очікуванням цільових сегментів і базуються на перевагах стратегії нішевої спеціалізації. Завдяки цьому формується стійка конкурентна позиція, яка дозволяє диференціюватися від традиційних реагентних або мембранних систем та побудувати довіру до нової торговельної марки.

Комплексний стратегічний підхід до виходу стартапу AquaMagnetNova на ринок демонструє цілеспрямованість, глибоке розуміння ринкових умов і чітке бачення своєї ніші. Компанія обирає диференційований селективний маркетинг,

орієнтуючись на сегменти з високим рівнем екологічної свідомості та готовністю до впровадження інновацій. Стратегія розвитку базується на спеціалізації та фокусуванні на конкурентних перевагах, серед яких – екологічність, простота встановлення та економія ресурсів. Унікальність технології дозволяє стартапу виступати в ролі лідера і формувати новий підхід до пом'якшення води, що відповідає глобальним трендам сталого розвитку. Збалансована стратегія позиціонування забезпечує впізнаваність, лояльність та стійкість бренду на динамічному ринку водоочисних технологій. У результаті стартап отримує чіткий вектор ринкової поведінки, що дозволяє успішно масштабуватись, адаптуватись до умов конкуренції та забезпечити сталий розвиток.

4.5. Розробка маркетингової програми стартап проєкту

На основі проведеного аналізу сформовано маркетингову концепцію стартап-проєкту, основні складові якої подано в таблиці 4.18.

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Екологічність	Безреагентна технологія, відсутність шкідливих стоків	Відповідає принципам сталого розвитку (ЦСР), екологічно безпечна
2	Економічність	Немає витратних матеріалів, низьке енергоспоживання	Разова інвестиція, відсутність витрат на обслуговування
3	Інноваційність технології	Магнітна обробка води на основі нових підходів.	Високотехнологічне рішення.
4	Зниження	Зміна структури солей,	Отримання м'якої воду без

	жорсткості	зниження накипу.	потреби в додаткових реагентах.
5	Стабільність ефекту з часом	Не потребує заміни, не втрачає ефективності.	Гарантований довготривалий ефект без технічного втручання.
6	Простота використання	Не потребує навичок або періодичного обслуговування.	Безшумна робота, не потребує спеціаліста чи налаштування.

Маркетингова концепція товару AquaMagnetNova орієнтована на ключові потреби споживачів: екологічність, економічність, простоту та ефективність. Основні вигоди — безреагентна технологія, відсутність витратних матеріалів, стабільний ефект без обслуговування, інноваційна магнітна обробка води. Переваги перед конкурентами полягають у разовій інвестиції, відповідності принципам сталого розвитку, простоті встановлення та використання, а також потенціалі до інтеграції новітніх технологій. Це формує унікальну торгову пропозицію, яка забезпечує високу конкурентоспроможність товару.

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Базова потреба споживача: отримання чистої, безпечної та м'якої води без використання хімічних реагентів. Основна вигода: екологічне, безпечне й економічне пом'якшення води для побуту, бізнесу та муніципального використання.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/ Ор
	1. Магнітна система пом'якшення води	М	Вр/Тх /Тл
	2. Безреагентна технологія	Нм	Тл / Е

	3. Конструкція корпусу (виготовлений з антикорозійного алюмінію, простота монтажу)	М	Тх / Е
	6. Естетичне оформлення пристрою	Нм	Е
	7. Види виконання (побутова / промислова / муніципальна серія)	Нм	Ор / Тл / Тх
	8. Екологічна упаковка з інформаційним супроводом	М	Е / Ор
	Якість: відповідає вимогам технічних регламентів, проходитиме лабораторні випробування на ефективність зміни фізико-хімічних властивостей води (зниження утворення накипу, полегшення прання, інші ефекти). Планується сертифікація в ЄС (CE).		
	Пакування: екологічне пакування з переробленого картону, мінімізація пластику, QR-код із доступом до інструкцій та відео з монтажу.		
	Марка: AquaMagnetNova — інноваційна система екологічної магнітної водообробки. Розробник — однойменний стартап, зареєстрований як ТОВ «AquaMagnetNova».		
III. Товар із підкріпленням	- Консультації щодо підбору моделі - Можливість монтажу - Доставка додому або в офіс - Гнучкі форми оплати		
	- Гарантія 3 роки - Технічна підтримка через месенджери або гарячу лінію - Партнерські програми сервісу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентним бюро та договором про нерозголошення працівників			

Модель товару AquaMagnetNova охоплює три рівні: товар за задумом, товар

у реальному виконанні та товар із підкріпленням. На першому рівні акцентовано на базовій потребі споживача — отриманні чистої, безпечної та м'якої води без хімічних реагентів, що забезпечує екологічність, економічність та універсальність використання. На другому рівні деталізовано реальні характеристики товару: магнітну систему пом'якшення води, безреагентну технологію, антикорозійний корпус, естетичне оформлення, різні види виконання (побутові, промислові, муніципальні) та екологічну упаковку. Товар відповідає технічним регламентам, планується сертифікація в ЄС (CE), а його якість підтверджуватиметься лабораторними випробуваннями. Бренд AquaMagnetNova позиціонується як інноваційний стартап з відповідальним підходом до екології. На третьому рівні пропонуються додаткові послуги: консультації, монтаж, доставка, гарантія 3 роки, техпідтримка та партнерські програми. Захист від копіювання забезпечується патентами та угодами про нерозголошення, що зміцнює конкурентні переваги товару на ринку.

Оскільки маркетингову модель вже сформовано, наступним кроком буде визначення цінових меж товару, якими в подальшому потрібно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (табл. 4.20). Таблиця включатиме в себе аналіз цін на товари-замінники, товари-аналоги, цільовий рівень прибутку та межі встановлення ціни.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
- Побутові фільтри з реагентами (сіль, поліфосфати):	- Магнітні або електромагнітні системи	- Середній дохід домогосподарства: 25 000–40 000 грн/міс	Побутова версія: 2 200 – 4 800 грн

800–1500 грн - Ручні фільтри або м'які побутові системи: 500– 1200 грн	інших виробників (EcoSoft, Aquabion, WaterBoss): 2 500–8 000 грн	Бажання інвестувати в еко-рішення: до 5 000 грн разово - B2B (кафе, готелі, малі виробництва): до 10 000 грн	Промислова версія: 6 000 – 11 000 грн
--	---	---	---

Визначення меж встановлення ціни на товар AquaMagnetNova базується на аналізі ринкового середовища, конкурентних пропозицій та платоспроможності цільової аудиторії. Нижня межа ціни обмежена вартістю простих фільтрів-замінників (500–1500 грн), тоді як верхня – цінами на аналогічні магнітні та електромагнітні системи (2500–8000 грн). Для побутових споживачів із середнім доходом 25 000–40 000 грн/міс оптимальний діапазон ціноутворення становить 2200–4800 грн, що враховує їхню готовність інвестувати в еко-рішення до 5000 грн. Для B2B-сегменту (кафе, готелі, малі підприємства) ціна промислової версії встановлена на рівні 6000–11 000 грн, що відповідає вищим вимогам до продуктивності та довгострокової економії.

Стратегія ціноутворення поєднує конкурентні переваги (безреагентна технологія, екологічність), диференціацію за споживчими сегментами та обґрунтований баланс між доступністю та прибутковістю. Це дозволяє зайняти нішу між дешевими замінниками та преміальними аналогами, максимізуючи охоплення цільового ринку.

Ця маркетингова програма дозволяє системно підходити до впровадження технології очищення води від іонів заліза на ринку та забезпечить конкурентні переваги для стартапу в цій галузі.

Таблиця 4.21 – Формування систему збуту

№ п /п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
--------------	---	--	----------------------	--------------------------

		товару		
1	B2C: покупці шукають екологічні, прості у використанні рішення для будинку	Просування товару (онлайн і офлайн реклама, SEO) - Надання технічної консультації перед купівлею	2-рівневий канал: Виробник → дистриб'ютор / інтернет-магазин → кінцевий споживач	Власний онлайн-магазин (B2C, через сайт) - Партнерські платформи (Rozetka, Prom)
2	B2B: готелі, кафе, фермери – очікують техпідтримку, стабільні поставки, сервіс - Часто рішення приймається після консультацій, огляду, відгуків	Демонстрація переваг у порівнянні з фільтрами або реагентами - Доставка, гарантія, супровід	2-рівневий канал: Виробник → дистриб'ютор / інтернет-магазин → кінцевий споживач	Дилери/дистриб'ютори для B2B - Прямі продажі через виставки, екоподії
3	B2G: муніципалітети, органи місцевого самоврядування – ухвалення рішень через публічні закупівлі, стратегічний підхід до сталого розвитку, тендерні вимоги	Участь у публічних тендерах (Prozorro); підготовка технічної документації; презентації на муніципальних форумах; адаптація до бюджетного	1-рівневий канал: Виробник → муніципалітет	Прямі продажі через тендери та офіційні запити (Prozorro); партнерство з інжиніринговими компаніями та інтеграторами

		планування		
--	--	------------	--	--

Формування системи збуту AquaMagnetNova враховує специфіку закупівельної поведінки різних цільових груп (B2C, B2B, B2G) та визначає оптимальні канали дистрибуції.

Для B2C-сегменту (приватні споживачі) обрано 2-рівневий канал збуту через власний онлайн-магазин, маркетплейси (Rozetka, Prom) та партнерські інтернет-платформи. Це дозволить забезпечити зручність покупки, технічні консультації та широкий охоплення аудиторії, яка шукає екологічні рішення для дому.

У B2B-напрямку (готелі, кафе, ферми) основним каналом є дилери та дистриб'ютори, які забезпечать технічний супровід, демонстрацію переваг і постпродажний сервіс. Додатково планується використовувати прямі продажі через виставки та екоподії, що сприятиме налагодженню довірчих відносин із бізнес-клієнтами.

Для B2G-ринку (муніципалітети, держустанови) обрано прямий збут через тендерні процедури (Prozorro), офіційні запити та партнерства з інжиніринговими компаніями. Це дозволить відповідати вимогам публічних закупівель, підкреслити екологічні переваги товару та інтегрувати його у програми сталого розвитку.

Такий підхід дозволить ефективно досягати різні цільові групи, забезпечуючи гнучкість, контроль якості обслуговування та максимальну присутність на ринку.

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингової комунікації

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	B2C: шукають	Соцмережі	Екологічна	Пояснити	«Вода без

	безпечні, екологічні, зручні рішення для очищення води без хімії	(Instagram, Facebook, TikTok), Google Search, YouTube, маркетплейси	безпечність, простота встановлення, економія коштів	переваги над фільтрами, підкреслити екологічність, заохотити спробувати	накипу і хімії — назавжди»
2	B2B (готелі, аграрії, заклади HoReCa): орієнтовані на довготривалі рішення, ефективність, окупність	Спеціалізовані виставки, LinkedIn, email-розсилки, галузеві ЗМІ, прямі продажі	Інноваційність, економічна вигода, відповідність стандартам ESG/ЦСР	Підкреслити окупність, відсутність реагентів, простоту вбудування в наявні системи	«Економія без компромісів . Інноваційна вода для вашого бізнесу»
3	Муніципалітети та інфраструктурні об'єкти: розглядають рішення в контексті сталого розвитку та бюджету	Офіційні запити, презентації, форуми, державні тендери	Екологічність, відсутність витрат на реагенти, відповідність ЦСР (6, 9, 12)	Підкреслити довготривалу вигоду, сталість, екологічність	«Рішення для міста майбутнього — безпечна вода без хімії»

Концепція маркетингових комунікацій AquaMagnetNova будується на основі специфіки поведінки цільових клієнтів (B2C, B2B, B2G) та вибору оптимальних каналів комунікації для ефективного позиціонування продукту.

Для B2C-сегменту (приватні споживачі) основним акцентом є екологічна

безпека, простота використання та економія коштів. Ключові канали просування — соцмережі (Instagram, Facebook, TikTok), YouTube та маркетплейси, де рекламне повідомлення підкреслює переваги безреагентної технології порівняно з традиційними фільтрами. Концепція звернення: «Вода без накипу і хімії — назавжди» — спрямована на мотивацію до спробувати продукт.

У B2B-напрямку (готелі, аграрії, HoReCa) акцент робиться на інноваційності, економічній вигоді та відповідності стандартам ESG. Основні канали комунікації — спеціалізовані виставки, LinkedIn, email-розсилки та галузеві ЗМІ. Рекламне повідомлення підкреслює швидку окупність, відсутність витрат на реагенти та інтеграцію в існуючі системи. Концепція: «Економія без компромісів. Інноваційна вода для вашого бізнесу» — формує образ вигідного та сучасного рішення.

Для B2G-сектору (муніципалітети, інфраструктурні об'єкти) ключовим є відповідність цілям сталого розвитку (ЦСР 6, 9, 12), екологічність та довгострокова бюджетна ефективність. Основні канали — офіційні тендери (Prozorro), презентації на форумах та робота з державними замовниками. Рекламне звернення: «Рішення для міста майбутнього — безпечна вода без хімії» — підкреслює внесок у сталість та ефективне управління ресурсами.

Маркетингова програма AquaMagnetNova інтегрує концепції товару, збуту, просування та ціноутворення, ґрунтуючись на цінностях та потребах клієнтів (екологічність, економія, простота), конкурентних перевагах (безреагентна технологія, сертифікація, довготривала вигода) та ринкових трендах (зростання попиту на еко-рішення, ESG-критерії), що забезпечує цілеспрямоване охоплення всіх цільових груп, максимізацію впізнаваності бренду та ефективне просування продукту на ринку.

4.6. Висновки щодо розробки стартап проєкту

У четвертому розділі представлено всебічну розробку інноваційного стартап-проєкту AquaMagnetNova, який спрямований на впровадження новітньої технології безреагентного пом'якшення води шляхом магнітної обробки. Проєкт поєднує у собі

наукову обґрунтованість, технологічну здійсненність та високий комерційний потенціал, що дає змогу розглядати його як конкурентоспроможне рішення на сучасному ринку екологічних технологій водопідготовки.

Основна ідея проєкту полягає у використанні багатошарової системи магнітних полів, які впливають на іонні структури кальцію (Ca^{2+}) та магнію (Mg^{2+}), змінюючи їхню кристалічну форму таким чином, що запобігає утворенню накипу на поверхнях нагрівальних елементів і трубопроводів. При цьому зберігається природний мінеральний склад води, що є однією з головних екологічних переваг технології над традиційними хімічними методами очищення.

Проведений технологічний аудит підтвердив практичну реалізованість проєкту: усі компоненти системи — магнітні елементи, корпус із екополімерів, з'єднувальні вузли — є доступними для виробництва в Україні та відповідають сучасним технічним стандартам. Аналіз показав, що технологія не потребує складного технічного обслуговування, не використовує витратних матеріалів, а термін експлуатації пристрою перевищує 10 років, що суттєво зменшує експлуатаційні витрати споживачів.

У межах порівняльного аналізу розглянуто три основні підходи до пом'якшення води — іонообмінний, мембранний (зворотний осмос) та магнітний. Результати дослідження показали, що AquaMagnetNova має переваги за низкою параметрів:

- екологічність — повна відсутність хімічних реагентів та відходів;
- економічність — зниження вартості обслуговування в 3–5 разів у порівнянні з традиційними системами;
- тривалий термін експлуатації — відсутність потреби в заміні фільтруючих елементів;
- зручність у використанні — простий монтаж і можливість дистанційного замовлення пристрою через онлайн-канали.

Результати ринкового аналізу підтверджують високу перспективність проєкту в умовах зростання глобального попиту на енергоефективні та екологічно безпечні технології. Сегментаційний аналіз виявив кілька ключових груп споживачів:

- приватні домогосподарства, що прагнуть зменшити витрати на комунальні послуги;
- підприємства HoReCa (готелі, ресторани, кафе), для яких важливі чистота обладнання та якість води;
- промислові підприємства, що використовують воду у виробничих процесах;
- муніципальні служби водопостачання, зацікавлені у впровадженні безреагентних систем.

SWOT-аналіз дав змогу комплексно оцінити внутрішні переваги та обмеження проєкту, а також зовнішні можливості та загрози. Серед сильних сторін відзначено екологічність, інноваційність, стабільність ефекту та простоту експлуатації. До слабких сторін віднесено потребу у додаткових випробуваннях для підтвердження ефективності у різних водних середовищах. Серед можливостей — державна підтримка екотехнологій, зростання екологічної свідомості населення, урбанізація та розвиток ринку приватного житлового будівництва. Основними загрозами є економічна нестабільність, бюрократичні бар'єри для сертифікації та інерційність споживачів щодо традиційних методів водоочищення.

Модель конкурентних сил М. Портера допомогла ідентифікувати ключові фактори ринкового середовища, що впливають на позиції стартапу. Найсуттєвішими конкурентними перевагами AquaMagnetNova є технологічна новизна, екологічна безпечність та низька собівартість використання, тоді як загрози формують насичення ринку класичними фільтраційними системами та висока вартість сертифікації нових технологій.

Стратегія позиціонування стартапу побудована на принципах диференціації — створення унікальної ринкової пропозиції, яка поєднує інноваційність, екологічність і доступність. AquaMagnetNova позиціонується як альтернатива традиційним системам очищення води, здатна зайняти нішу між іонообмінними фільтрами та системами зворотного осмосу, пропонуючи користувачам збалансоване рішення за критеріями “ціна–якість–екологія”.

Розроблена маркетингова концепція включає чотири ключові компоненти:

- товарну політику, що передбачає серійне виробництво пристроїв різних

модифікацій залежно від обсягів споживання води;

- цінову політику, побудовану на принципах доступності для масового ринку та преміального позиціонування для бізнес-сегмента;
- збутову політику, яка поєднує онлайн-канали, партнерські дистриб'юторські мережі та прямі продажі;
- комунікаційну стратегію, орієнтовану на формування екологічного іміджу бренду через соціальні мережі, демонстраційні кейси та участь у профільних виставках.

Фінансово-економічна модель підтвердила, що проєкт має високу комерційну привабливість завдяки низьким експлуатаційним витратам і можливості масштабування виробництва. Вихід на самоокупність прогнозується протягом перших двох років після запуску, що відповідає середнім показникам для технологічних стартапів у сфері екологічних інновацій.

У підсумку, результати розділу свідчать, що стартап AquaMagnetNova є інноваційним, екологічно безпечним і технологічно реалістичним рішенням, здатним задовольнити актуальні потреби ринку в ефективному, безреагентному пом'якшенні води. Поєднання технічної новизни з глибоко опрацьованою ринковою стратегією забезпечує проєкту високу ймовірність комерційного успіху, а також створює основу для подальшого розвитку у сфері екологічних технологій і сталого водокористування в Україні та за її межами.

ВИСНОВКИ

Проведений цикл досліджень процесів обробки водних розчинів магнітним полем показав:

1. Зважаючи на те, що магнітне поле відноситься до факторів близької дії, його розподіл в просторі надзвичайно неоднорідний, що створює різні умови обробки розчинів в різних точках робочої ємкості.

2. Спроби визначати вплив магнітного поля на водні розчини опосередкованими параметрами, які просто фіксуються в різних умовах, як то водневий показник чи питома електропровідність, не увінчалися успіхом, оскільки не вдалося зафіксувати ефекту обробки навіть на фоні зміни цих параметрів при зберіганні на повітрі.

3. Використання методу аналізу шляхом витримки модельних розчинів при підвищених температурах показало, що загальна кількість кальцію розподіляється на три частини – залишкова жорсткість рідкої фази, тверда фаза, що формується в об'ємі розчину та тверда фаза, що формується на теплопередаючій поверхні.

4. Було встановлено, що переважна кількість карбонату кальцію у водних розчинах в присутності гідрокарбонатів найбільш інтенсивно формується при температурі 70 °C протягом 70 хв. Далі процес стабілізується і зниження жорсткості модельних розчинів не фіксується. Тому для наступних аналізів нами було вибрано саме такі параметри.

5. Дослідження процесів обробки постійним магнітним полем нерухомих водних розчинів не супроводжується зниженням їх жорсткості. Зміна магнітної індукції в межах 24 – 129,6 мТл також не супроводжується якимось позитивним ефектом, так само як і зміна полярності магнітного поля.

6. Проведені за тих же умов експерименти з переміщенням модельних розчинів в магнітному полі показали, що при швидкості рідкої фази в межах 0 – 0,7 м/с позитивного впливу на зниження жорсткості води зафіксувати не вдалося.

7. В об'ємі роботи було досліджено різноманітні конструкції магнітних систем та заміряно їх магнітну індукцію в різних точках робочого об'єму. Експерименти по

обробці модельних розчинів в системах з найбільшою магнітною індукцією не підтвердили якогось впливу на залишкову жорсткість та інтенсивність накипоутворення.

7. У четвертому розділі обґрунтовано доцільність розробки та впровадження стартап-проєкту AquaMagnetNova як інноваційного, екологічно безпечного та економічно ефективного рішення у сфері безреагентного пом'якшення води. Проведений технологічний, ринковий і фінансово-економічний аналіз підтвердив практичну реалізованість проєкту, його конкурентні переваги над традиційними методами водопідготовки, а також потенціал масштабування на побутовий, комерційний і промисловий сегменти. Результати SWOT-аналізу та моделі п'яти сил М. Портера засвідчили наявність сприятливих умов для виходу стартапу на ринок за умови подальшого експериментального підтвердження ефективності технології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильєва М. Г., Шевченко С. В. Гідрохімія та біохімія гідробіонтів: збірник методичних вказівок до лабораторних робіт. 2017.
URL: http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/721/1/Vasil%27evaMG_ShevchenkoSV_Gidroxiimiya_ta_bioximiya_gidrobiontiv_Lab_rob_2017.pdf
2. Некос А. Н., Максимов О. М., Шевчик К. В. Екологічна якість природних вод з міських джерел м. Харкова. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2019. № 31. С. 96–103. URL: https://journals.urau.ludina_dov/article/view/188504
3. Федін В., Твердохліб М., Гомеля М. Проблема утворення накипу в промислових системах водохолодження та методи її запобігання. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Екологія. Людина. Суспільство". 2024.
URL: <https://ecoconference.kpi.ua/article/view/303742/299202>
4. Луганська О., Петрикевич М., Пушкар А. Використання фосфонатів у запобіганні утворенню накипу в зворотних системах охолодження. Молодий вчений. 2025. № 1 (132).
URL: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/6336>
5. Трус І. М., Федін В. М. Оцінка ефективності антискаланту для стабілізаційної обробки природної води. 2024.
URL: <https://ir.stu.cn.ua/jspui/bitstream/123456789/31652/1/%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D1%96%D0%BD%20%D0%92.%D0%9C.%2C%D0%A2%D1%80%D1%83%D1%81%20%D0%86.%D0%9C..pdf>
6. Зінь І. М. та ін. Інгібування корозії сталі полікарбонатами. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2014.
URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/136853>
7. Федін В., Трус І. Оцінка ефективності антискаланту для стабілізаційної обробки природної води. 2024.
URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/978a8bf7-7971-4c4f-a85d-a36596957161/content>

8. Федін В., Твердохліб М., Гомеля М. Проблема утворення накипу в промислових системах водохолодження та методи її запобігання. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Екологія. Людина. Суспільство". 2024. URL: <https://ecoconference.kpi.ua/article/view/303742>
9. Пузій О., Пасальський Б., Чикун Н. Фосфоровмісні вуглецеві сорбенти для очистки води. Товари і ринки. 2014. № 1. С. 159–166.
- 10.Ткаленко Д. А. та ін. Комплексоутворюючі реагенти аналітичної хімії як інгібітори корозії металів. Український хімічний журнал. 2009. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/82559>
- 11.Шаблій Т. О. та ін. Оцінка ефективності реагентів для стабілізаційної обробки води циркуляційних систем. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. 2017. № 3. С. 101–107.
- 12.Глиняна С. В., Радовенчик В. М. Зниження мутності природних вод коагулянтами на основі сполук заліза. 2014. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/9bf4219c-7ba1-4f0a-95dd-2acc5a5578f9/content>
- 13.Ткачук О. О. Фізіолого-біохімічні методи стимулювання проростання насіння шипшини. Інтродукція рослин. 2005. № 4. С. 85–87.
- 14.Гиль З. П., Князева О. І., Михайленко В. Г. Фільтраційні та седиментаційні властивості шламу електрохімічного пом'якшення води. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2012. Т. 41, № 2. С. 153–156.
- 15.Ткачов В. О., Чуб І. М. Конспект лекцій з дисципліни «Водопідготовка в системах ТГП і В» (для студентів 5 і 6 курсу всіх форм навчання спеціальностей 7.092108, 8.092108 (7.06010107, 8.06010107) «Теплогазопостачання й вентиляція»)). URL: https://eprints.kname.edu.ua/25298/1/lektgp1_ukr_2%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%202010%2059%D0%9B.pdf
- 16.Горобець С. В., Горобець О. Ю., Двійненко О. К. Очищення стічних вод від іонів важких металів магнітокерованим біосорбентом за допомогою

високоградієнтних магнітних полів. Електроніка та зв'язок. Тематичний випуск «Електроніка та нанотехнології». 2009. Ч. 2.

17. Малкін Е. С. та ін. Про вплив магнітних полів на питому теплоту випаровування води. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2007. № 11. С. 3–9.
18. Крупа М. М., Приймак О. В., Коваленко Н. О. Вплив електромагнітного поля на воду і водяні розчини і очищення води. Energy-efficiency in civil engineering and architecture. 2017. № 9. С. 124–131.
URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2017_9/24.pdf?utm_source=chatgpt.com
19. Крамаренко Л. В. Курс лекцій з дисципліни «Спецкурс по очищенню природних вод» (для студентів 5 курсу денної форми навчання напряму 0926 «Водні ресурси» спеціальності 8.092601—«Водопостачання, водовідведення»). 2010.
URL: https://eprints.kname.edu.ua/18739/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B9_%D0%A1%D0%9F%D0%95%D0%A6%D0%9A%D0%A3%D0%A0%D0%A1_2010_%D0%B2_%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C.pdf
20. Луганська О., Петрикевич М., Пушкар А. Використання фосфонатів у запобіганні утворенню накипу в зворотних системах охолодження. Молодий вчений. 2025. № 1 (132).
URL: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/6336>
21. Кирилюк С. В., Корчик Н. М., Буденкова Н. М. Кінетичні дослідження процесу реагентного очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва. І прикладні дослідження в сучасній хімії. С. 107.
22. Добровольська О. Г. Переробка відходів комунальних підприємств: конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми.
URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/385050/mod_resource/content/3/

[D0%97%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D1%83.pdf](#)

- 23.Горобець С. В., Двійненко О. К., Михайленко Н. О., Лебеда Г. Л., Чередниченко Д. А. Технологія очищення стічних вод від іонів важких металів за допомогою високоградієнтних магнітних полів. Всеукраїнська конференція з питань безпеки харчування. Київ, 2010. С. 54–55.
- 24.Горобець С. В. Вилучення іонів важких металів із стічних вод за допомогою магнітокерованої біосорбції. № 0109U002635. 2011.
URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/32f44b3d-76c8-4fa7-9773-84e7d126c810/content>
- 25.Шкоп А. О. Закономірності процесів розділення шламових вод з полідисперсною твердою фазою в осаджувальних центрифугах: дис. Сумський державний університет, 2017.
URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/52408>
- 26.Terentiev, Markovych, Mozharovska O. A. Використання внутрішньої енергії рідинного середовища при очищенні його дією постійного магнітного поля. Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво". 2008. № 17. С. 150–154.
- 27.Наливайко О. І., Мангура А. М., Наливайко Л. Г. Магнітна обробка нафти як метод боротьби з відкладеннями парафіну при її транспортуванні трубопроводами. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. 2013. Т. 1, № 2. С. 92–108.
- 28.Сілін Р. І., Гордєєв А. І. Вібраційне обладнання для кавітаційно-магнітної обробки води. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. 2009. Вип. 43. С. 33–43.
URL: https://vlp.com.ua/files/04_61.pdf
- 29.Рой І. О. Підвищення екологічної безпеки питного водопостачання шляхом інтенсифікації процесу окислення органічних речовин: дис. Сумський

URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/49091>

- 30.Струтинська А. В. та ін. Сучасні підходи очищення стічної води біотехнологічних виробництв. Секція 1. Техногенно-екологічна безпека України і прогнозування ризиків у природокористуванні. Сучасні технології переробки та утилізації промислових, побутових та інших відходів. Сучасні екотехнології водоочищення та. 2014. С. 200955.
URL: https://ineek.vntu.edu.ua/esp/images/stories/kvt/arh_ze/2/s1.pdf#page=44
- 31.Сілін Р. С. та ін. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води з електромагнітним приводом. 2014.
- 32.Журавська Н. Є. Система обробки води в електромагнітних полях. 2015.
URL: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/45871b5e-caa8-4263-8a96-09e1fc6b2701/content>
- 33.Пляцук Л. Д., Рой І. О. Інтенсифікація процесів водопідготовки в системах оборотного водопостачання: дис. Вид-во СумДУ, 2011.
- 34.Остапенко В. В. та ін. Вплив механічної і магнітної обробки на фізико-хімічні показники води. 2007.
URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/89c63bc1-f4be-4246-af23-92da8f58c620/content>
- 35.Малкін Е. С. та ін. Перспективи створення ресурсозберігаючих технологій шляхом магнітної обробки води та водних розчинів. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2014. № 17. С. 120–127.
- 36.Струтинська Л. Оцінка економічної ефективності інноваційних водоочисних технологій басейнів та аквапарків. Вісник. 2022. С. 322.
URL: <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2022/07/2022-306-03.pdf>
- 37.Шевчук Л. І., Афтаназів І. С., Строган О. І. Обладнання для активації води пневмо-магнітною кавітаційною обробкою. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2011. Тематичний випуск 23. С. 12–19.
URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/50583979.pdf>

- 38.Бондаренко О. О. та ін. Електрика та магнетизм. Практикум з навчальної дисципліни «Фізика». 2009.
URL: <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/11127/1/%D0%93%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B2%20%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%AD%D0%B8%D0%9C.pdf>
- 39.Крупа М. М., Приймак О. В., Коваленко Н. О. Вплив електромагнітного поля на воду і водяні розчини і очищення води. Energy-efficiency in civil engineering and architecture. 2017. № 9. С. 124–131.
- 40.Філін Д. С. Дослідження та порівняння режимів модуляції пальників побутових котлів малої теплової потужності з пальниками жаротрубних водогрійних котлів великої потужності. Нова тема. С. 46.
URL: https://www.ukrinterm.com.ua/images/nova-tema/st_29.pdf#page=44
- 41.Струтинська Л. Оцінка економічної ефективності інноваційних водоочисних технологій басейнів та аквапарків. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences. 2022. Т. 308, № 4. С. 202–209. URL: <https://herald.khmnpu.edu.ua/index.php/herald/article/view/1015>
- 42.Макаренко І. М. Стабілізаційна обробка морської води у процесі її зворотньоосмотичного опріснення. Екологія и промышленность. 2014. № 4. С. 60–65.
- 43.Кудря О. В. Особливості озонування питної води. С. 219–221. URL: https://eprints.kname.edu.ua/61528/1/Ch._%20%2021-220-222.pdf
- 44.Берегова О. М., Подолян Р. А., Крилова Д. І. Методи знезаражування води: переваги і недоліки. 2012. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/items/87ce1e70-6390-4e7d-81c4-bb51173d1c3b>
- 45.Перемот М. О. Метод електромагнітної активації поливних розчинів змінним полем. URL: https://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdatu/11-4/11_4/35.PDF
- 46.Яцков М. В. Клименко М. О., доктор сільськогосподарських наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне); Лико Д. В., доктор сільськогосподарських наук, професор Рівненського

- державного гуманітарного університету (м. Рівне). URL:
<https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0054008.pdf>
- 47.Сметаніна А. В., Сметанина А. В. Техніко-економічне обґрунтування технології обробки води ультрафіолетовим випромінюванням. 2015.
- 48.Струтинська Л. Оцінка економічної ефективності інноваційних водоочисних технологій басейнів та аквапарків. Вісник. 2022. С. 322. URL:
<http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2022/07/2022-306-03.pdf>
- 49.ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості.
- 50.Сорокіна К. Б. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» (для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання освітнього рівня «магістр» спеціальності 192–Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та «Рациональне використання і охорона водних ресурсів»). 2016. URL:
<https://eprints.kname.edu.ua/54061/1/2019%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%20124%D0%9C%20%D0%A1%D0%9E%D0%9F%D0%92%20%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81.pdf>
- 51.Маслянка К. С. Установка пом'якшення води для котельні Приватного акціонерного товариства «Київський картонно-паперовий комбінат». 2020.
- 52.Бохан Ю. В., Костів А. В., Костів М. В. Аналіз стану поверхневих та підземних вод Побужжя за показником твердості. Екологічні проблеми сучасності та шляхи їх вирішення. 2016. С. 157. URL:
<https://core.ac.uk/download/pdf/84826245.pdf#page=157>
- 53.Багдасарян Д. А., Петренко О. Д., Луговський О. Ф. Технологія ультразвукового кавітаційного знезараження рідин. Інновації молоді в машинобудуванні. 2021. № 3. С. 263–272. URL:
<https://imm.kpi.ua/article/view/231643>
- 54.Панайотова Т. Д. Робоча програма з дисципліни «Хімія води» для студентів за напрямом підготовки «6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)». URL:

<https://eprints.kname.edu.ua/37616/1/%D0%9F%D0%9D%D0%94%20%D0%A5%D0%92.pdf>

- 55.Бойченко Н. О., Кур'янова С. О. Якість води після знезараження – переваги і недоліки. 2021. С. 88–89.
- 56.Бойко В. І., Лут О. А. Неорганічна хімія: навч. посіб. з неорганічної хімії для студентів I курсу спеціальності: Хімія, Біологія денної форми навчання. 2015.
- 57.Крамаренко Л. В. Технологія очищення природних вод: навч. посіб. 2008. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/6240/>
- 58.Сорокіна К. Б. Конспект лекцій з дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» (для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання освітнього рівня «магістр» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та «Рациональне використання і охорона водних ресурсів»). URL: <https://eprints.kname.edu.ua/43493/1/2016%2075%D0%9B%20%D0%A1%D0%9E%D0%9F%D0%92%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF..pdf>
- 59.AWWA Research Foundation. Membrane Systems for Water Treatment. American Water Works Association, 2019.
- 60.Гусятинська Н. А., Подорога Т. П. Очищення води мембранними методами. 2017.
- 61.Ткачук О. О. Фізіолого-біохімічні методи стимулювання проростання насіння шипшини. Інтродукція рослин. 2005. № 4. С. 85–87.
- 62.Baker, Richard W. Membrane technology and applications. John Wiley & Sons, 2023.
- 63.Пашкова С. П., Самаріна А. В. Стабілізаційна обробка води оборотних систем водопостачання. Науковий вісник будівництва. 2014. Т. 78, № 4. С. 179–182. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/1585>
- 64.Сорокіна К. Б. Методичні вказівки до виконання курсового проекту "Водопровідні очисні споруди системи господарсько-питного водопостачання" (№ 95).

- 65.Квартенко О. М. Технологія та обладнання вузла стабілізаційної обробки агресивних підземних вод. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2017. № 139. С. 161–166.
- 66.Шуриберко М. М., Гомеля М. Д., Шаблій Т. О. Дослідження та оцінка ефективності реагентів для стабілізаційної обробки води. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. Т. 29, № 1 (2). С. 191–195.
- 67.Янко Н. В. та ін. Проблеми забезпечення населення Волинської області питною водою. Актуальні проблеми транспортної медицини. 2008.
- 68.Сорокіна К. Б. Робоча програма з дисципліни «Спецкурс з очистки води від розчинних домішок» для студентів спеціальності 8.06010108 «Водопостачання та водовідведення». URL: https://eprints.kname.edu.ua/37587/1/%D0%A1%D0%9E%D0%92%D0%A0%D0%94_%D0%A0%D0%9F%D0%9D%D0%94%202014.pdf
- 69.Сорокіна К. Б. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» (для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання освітнього рівня «магістр» спеціальності 192–Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та «Рациональне використання і охорона водних ресурсів»). 2016. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/54061/1/2019%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%20124%D0%9C%20%D0%A1%D0%9E%D0%9F%D0%92%20%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81.pdf>
- 70.Сорокіна К. Б. Спеціальні методи водопідготовки: конспект лекцій (для студентів 5-6 курсів денної і заочної форм навчання спеціальностей 7.06010108 «Водопостачання та водовідведення» та 7.06010302 «Рациональне використання і охорона водних ресурсів»). URL: <https://eprints.kname.edu.ua/35507/1/2013%2024%D0%9B%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%20%D0%A1%D0%9C%D0%92.pdf>

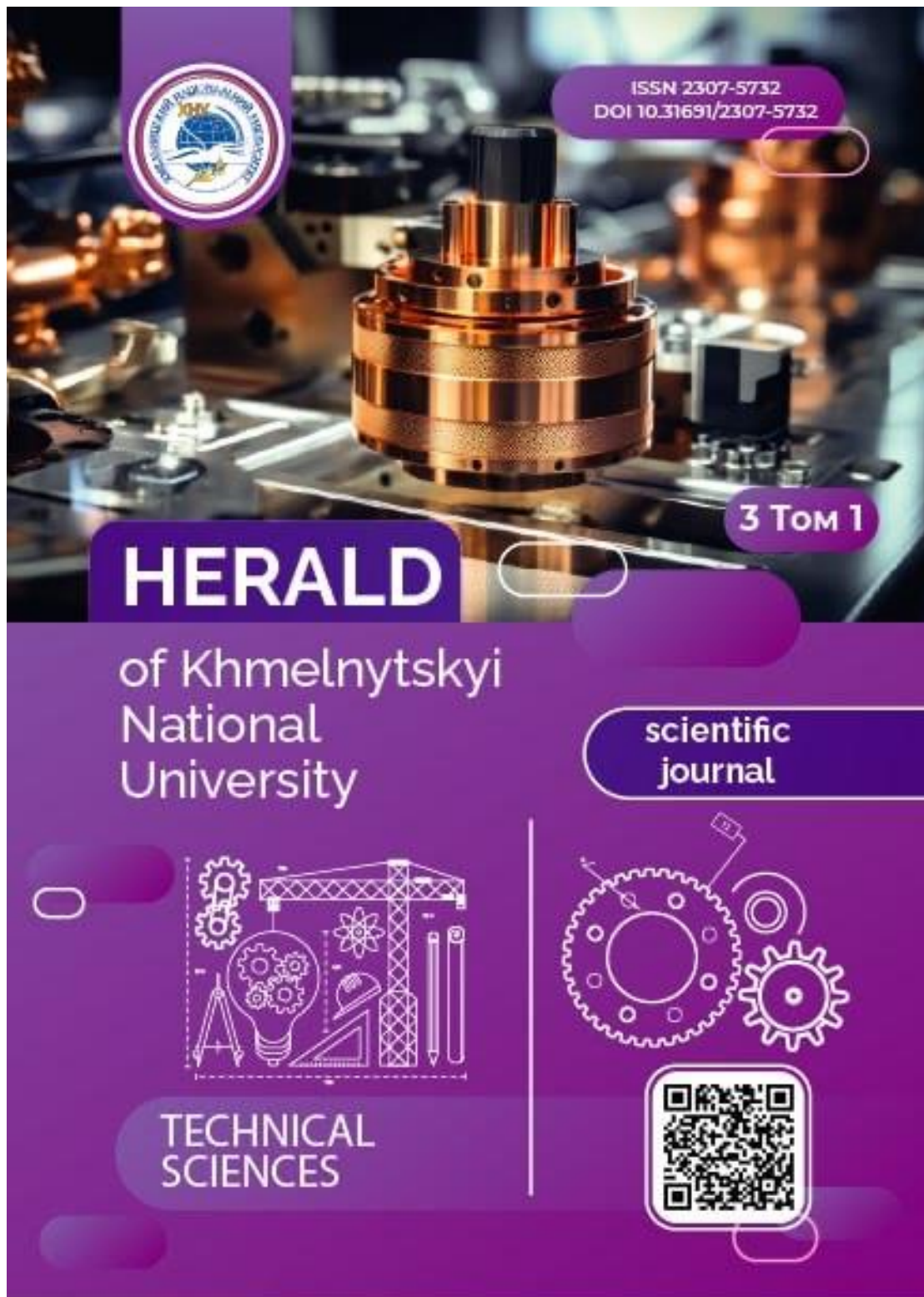
71. Супрунова А. В. Реконструкція станції водопідготовки міського комунального підприємства "Водоканал" м. Коростишева. 2024. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/9ff1866f-fb7f-4c60-b528-6f32a95e1f56/content>
72. Рижук О. М. Розробка та розрахунок безстічної установки натрійкатіонного пом'якшення води. 2019. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/3cca7248-0781-421e-a425-4cb715fa4771/content>
73. Сорокіна К. Б. Конспект лекцій з дисципліни "Технологія очищення води від розчинених домішок". 2007.
74. Сорокіна К. Б. Програма навчальної дисципліни та Робоча програма навчальної дисципліни "Технологія очистки води від розчинених домішок" для студентів 5 курсу денної форми навчання напряму підготовки 0926—«Водні ресурси», спеціальності 7.092601—«Водопостачання та водовідведення». 2009. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/11321433.pdf>
75. Шевчук Л. І., Афтаназів І. С., Строган О. І. Магніто-кавітаційне знезараження води. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. Т. 5, № 6 (53). С. 7–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/magnito-kavitatsiynе-znezarazhennya-vodi>
76. Штепа Є. П., Михайлова К. А. Конструкції апаратів для магнітної обробки харчових рідинних середовищ. 2016.
77. Шевчук Л. І. та ін. Пристрій для активації та знезараження води. 2011. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b10c0def-580d-41c5-aea5-e02f23a3605b/content>
78. Малафаєв М. Т., Гапонова О. О., Школьнікова Т. В. Порівняння температурних залежностей енергій активації для течії та дифузії у чистій воді. 2022. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/646afe92-a65e-4360-9875-fc8381018144/content>

79. Скиба М. І., Лінючева О. В. Воробйова В. І. Вчені записки. 2024. С. 20. URL: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2024/5_2024/part_2/5-2_2024.pdf#page=26
80. Афтаназів І. С. та ін. Ріст сільськогосподарських рослин із новітніми технологіями водопідготовки. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Т. 28, № 6. С. 23–29.
81. Лабораторна робота №3. Твердість води [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/23675>.
82. Набиванець Б. Й. Аналітична хімія природного середовища / Б. Й. Набиванець, В. В. Сухан, Л. В. Калабіна – К.: Либідь, 1996. – 201 с.
83. Савченко В.В. Вплив магнітного поля на воду / В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, В.Я. Бунько // Енергетика і автоматика. – 2019. – № 1. – С. 6 – 15.
84. Маркетинг стартап-проектів : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
85. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.
86. Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N., Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiuh, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(13 (129), 57–69 DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997> , URL: <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/304997>
87. Yudina N. V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // *Marketing and Management of innovations*. 3’2017, P. 245-256. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.26463710.21272/mmi.2017.3-23> , URL: <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>

- 88.Yudina, N. Economic “Butterfly” and Futurology of the War in Ukraine. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №23 (2022). PP. 77-82. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.264637> .
- 89.Yudina, N. Algorithm Of Marketing Decision Making. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №22 (2022). PP. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.22.2022.260163>
- 90.Yudina, N. Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №19 (2021). PP. 1-9 URL: <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>
- 91.Yudina, N., Pidlisna, O. Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.18.2021.238105>
- 92.Yudina, N., Instrumenty Zarządzania Przyszłością. Marketing Instytucji Naukowych I Badawczych, Vol. 38, Issue 4,, 2020, Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Lotnictwa. Poland, Warszawa, p. 1-19 ISSN 2353-8503 eISSN 2353-8414. http://minib.pl/wp-content/uploads/2020/12/4-Yudina_pl.pdf DOI: <https://doi.org/10.2478/minib-2020-0027>
- 93.Yudina, N. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>

ДОДАТКИ ДОДАТОК А

Вощенко Б., Радовенчик В., Меновщикова А., Радовенчик Я. Особливості вимірювання ефектів обробки води магнітним полем // Вісник Хмельницького національного університету, №3, 2025 (351). – С.113 – 118.



<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-13>
УДК 621.313.8 : 631.53.02

ВОЩЕНКО БОГДАН

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0009-0002-6502-0910>
e-mail: pbfpb21@gmail.com

РАДОВЕНЧИК ВЯЧЕСЛАВ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0001-5361-5808>
e-mail: dokeco@ukr.net

МЕНОВЩИКОВА АЛЬОНА

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0009-0005-2339-1264>
e-mail: alena-20-02@ukr.net

РАДОВЕНЧИК ЯРОСЛАВ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0002-0101-0273>
e-mail: dokeco@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕФЕКТІВ ОБРОБКИ ВОДИ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ

В роботі наведено результати вимірювань ефектів, що виникають у водних розчинах після обробки магнітним полем. Встановлено, що для природних вод реєстрація зміни водневого показника та питомої електропровідності не можуть слугувати надійним показником впливу магнітного поля на властивості водних розчинів.

Ключові слова: пом'якшення, магнітне поле, водневий показник, електропровідність розчину, магнітна індукція.

**VOSCHCHENKO BOHDAN, RADOVENCHYK VIACHESLAV,
MENOVSHCHIKOVA ALENA, RADOVENCHYK YAROSLAV**
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

FEATURES OF MEASURING THE EFFECTS OF WATER TREATMENT WITH A MAGNETIC FIELD

The catastrophic deterioration of the quality of natural waters prompts intensive research in the field of water treatment and purification technologies. At the same time, special preference is given to technologies that are not associated with the use of additional reagents and secondary pollution of consumed water. One of such promising areas is the use of a magnetic field in water treatment technologies. However, today, even in the most studied field of using a magnetic field to protect power equipment from scale formation, there is no consensus on the dominant processes and factors. Therefore, it is obvious that research in this field is relevant and timely. The conducted cycle of experiments on reliable fixation of the effects of the magnetic field on aqueous solutions with increased rigidity allows us to assert that indirect control methods in the form of specific electrical conductivity or hydrogen index cannot adequately describe changes in the treated solutions. Changes in the specified parameters are so insignificant that they are leveled against the background of their initial values. To reliably record the decrease in hardness of natural waters as a result of treatment with a magnetic field, it is advisable to measure the residual hardness after prolonged treatment at elevated temperatures. We have established that the closest to real operating conditions is the installation of a heating element directly in the thickness of the solution under study. In this case, it is possible to record the balance of hardness ions, which will be divided into three parts - the residual hardness of the liquid phase, the solid phase in the form of sediment and the solid phase in the form of scale. The study of the processes of formation of the specified three parts shows that the optimal temperature for processing during the analysis is not lower than 60 - 70 °C and the processing time at this temperature is not less than 60 minutes. Under these conditions, the overwhelming number of possible calcium carbonate particles crystallizes and further increase and extension of the specified parameters does not significantly affect the result.

Keywords: softening, magnetic field, hydrogen indicator, electrical conductivity of the solution, magnetic induction

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Постановка проблеми

Формування антропогенних кругообігів сполук кальцію, магнію та інших елементів супроводжується суттєвим погіршенням якості природних вод та перешкоджає їх безпосередньому споживанню населенням і використанню в технологічних процесах. Для більшості природних вод звичним стає обов'язкове застосування технологій пом'якшення та знезалення перед їх використанням. Традиційні реагентні методи пом'якшення пов'язані із використанням значних доз реагентів та вторинним забрудненням обробленої води. В багатьох випадках застосування реагентних методів не забезпечує достатньої ефективності. Застосування іонообмінних технологій пом'якшення природних вод супроводжується утворенням значних об'ємом висококонцентрованих регенераційних розчинів, котрі, в більшості випадків, скидаються в поверхневі водойми, погіршуючи і без того катастрофічну

ситуацію з якістю природних вод. Тому вже тривалий час ведуться дослідження в галузі використання в технологіях обробки води фізико-хімічних методів – обробка в електролізерах спеціальної конструкції та обробка магнітним полем. Перший патент на обробку води магнітним полем з метою зменшення накипоутворення було видано ще в 1946 р. бельгійському інженеру Т. Вермейрену, але з тих пір значних успіхів в цьому напрямку не зафіксовано [1]. Більше того, навіть сьогодні відсутня єдина теорія впливу магнітного поля на водні розчини. Тому питання впливу магнітного поля на різні параметри водних розчинів і сьогодні залишаються досить актуальними, оскільки їх знання дозволяє встановити найбільш ефективні діапазони окремих параметрів – магнітної індукції, тривалості обробки, швидкості водного потоку, а нові дослідження в цій галузі завжди є своєчасними та цікавими фахівцям технологій водопідготовки.

Аналіз досліджень та публікацій

Вивчення впливу магнітного поля на водні розчини почалося на території України ще у 80-х роках минулого століття [2]. Основна увага на перших порах була зосереджена саме на вивченні ефективності магнітної обробки води з метою зниження накипоутворення. Сьогодні виділяють три основні групи гіпотез такої обробки – іонна, колоїдна та водна [1]. Гіпотези першої групи базуються на твердженні, що в результаті дії магнітного поля на водні розчини в них спостерігаються поляризаційні явища та деформація іонів, в результаті чого відстань між ними скорочується і збільшується вірогідність їх взаємодії з утворенням центрів кристалізації [3]. Причому, магнітне поле діє саме на іони, що перебувають в розчині – насамперед Ca^{2+} та HCO_3^- . Встановлено, що попередня обробка розчинів хлориду кальцію та карбонату натрію магнітним полем в 0,3 Тл протягом 10 хв при їх наступному змішуванні частота зародження частинок карбонату кальцію гальмується, а ріст частинок прискорюється. Причому, зазначений ефект спостерігається навіть через 120 годин після магнітної обробки. Хоча, за даними [4], розміри іонів і частинок карбонату кальцію після обробки в магнітному полі зменшувалися. Друга група гіпотез базується на врахуванні впливу магнітного поля на колоїдні частинки у вигляді частинок CaCO_3 , різноманітних сполук заліза і навіть нанобульбашок повітря [5]. Одним із можливих механізмів дії магнітного поля вважається його вплив на поверхневий заряд, що сприяє утворенню зародків та збільшенню швидкості утворення частинок карбонату кальцію. Третя група гіпотез базується на дії магнітного поля на структуру води через зміни водневих зв'язків між окремими кластерами та у самих кластерах [6, 7, 8]. Останнім часом гіпотези третьої групи отримують значно більше прихильників, особливо після скептичного обґрунтованого сприйняття двох інших груп гіпотез авторами [9]. Таким чином, досі відсутня єдина обґрунтована теорія впливу магнітного поля на воду та водні розчини, що тривалий час підтримує зацікавленість науковців та практиків у детальному вивченні ефектів магнітного поля. Сьогодні до енергетики, де магнітне поле використовується досить давно, приєдналися сільське господарство [10], харчова промисловість [11], легка [12] та видобувна [13] промисловість і ряд інших галузей, тому важливо оцінити основні результати процесів обробки водних розчинів магнітним полем, які піддаються надійній фіксації та обробці.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження можливості надійної фіксації окремих ефектів впливу магнітного поля на водні розчини при вивченні практичних результатів зменшення їх накипоутворення після обробки.

Виклад основного матеріалу

Методика експериментальних досліджень полягала в обробці природної води постійним магнітним полем в статичному стані (рис. 1а) та при переміщенні її через силові лінії постійного магнітного поля (рис. 1б). В якості джерела магнітної індукції використовували феритові магніти діаметром зовнішнім 50 мм та внутрішнім 25 мм і товщиною 10 мм. Максимальне значення магнітної індукції на поверхні одного магніту складає 24 мТл. В якості модельних використовували природну воду загальної мінералізації 503 мг/дм^3 , кальцієва жорсткість якої шляхом додавання хлориду кальцію доведена до $27,4 \text{ мг-екв/дм}^3$. Вміст гідрокарбонатів складав 305 мг/дм^3 . Вимірювання магнітної індукції проводили тесламетром TD 8620, вимірювання параметрів розчинів – TDS-метром pH-686.

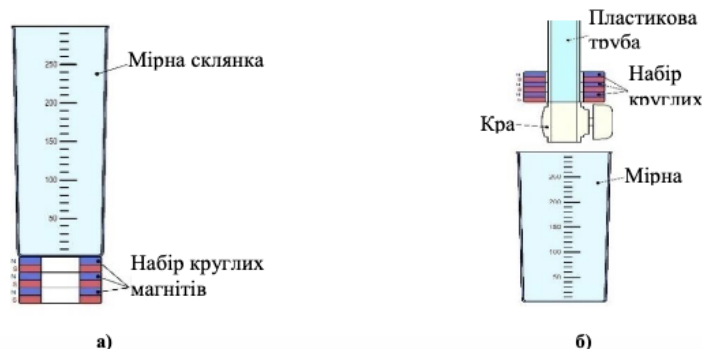


Рис. 1. Лабораторні пристрої для вивчення впливу магнітного поля на водні розчини:
а) – для статичної рідкої фази; б) – для рухомої рідкої фази

При проведенні досліджень з використанням магнітного поля варто звертати увагу на той факт, що магнітне поле відноситься до факторів близької дії. Як видно з рис. 2, вже на відстані 5 мм від поверхні магніту величина магнітної індукції знижується вдвічі, а при віддаленні на 50 мм – спадає до 0,1 – 6,7 мТл при максимальній індукції на поверхні магніту в 77,8 – 129,6 мТл. А це призводить до того, що різні шари рідкої фази будуть піддаватися дії магнітного поля різної величини, а поверхневі взагалі можуть не відчувати такої дії. Такий стан речей вимагає досить зважено підходити до планування експериментів та перед проведенням хімічних аналізів розчини ретельно перемішувати для отримання адекватних результатів.

Сьогодні оцінка ефективності антискалантів та фізичних факторів в процесах пом'якшення води базується на тривалому її нагріванні при температурах 60 – 90 °C та хімічному аналізі з використанням трилону Б, що потребує значних затрат часу та ресурсів. Тому використання з цією метою інших, простіших і можливо навіть опосередкованих параметрів оброблених розчинів є досить актуальною. Найбільш простими і доступними для реального вимірювання параметрів оброблених розчинів є водневий показник та питома електропровідність. Разом з тим, не варто забувати, що приготувані модельні розчини можуть змінювати ці параметри при контакті з повітрям в результаті поглинання вуглекислого газу та формуванні карбонат- та гідрокарбонат-аніонів. Як видно з рис. 3, навіть без будь-якого зовнішнього втручання з часом вказані параметри можуть суттєво змінюватися в результаті контакту з атмосферою. Причому, якщо в кислому та нейтральному середовищі така зміна рН спостерігається в бік зростання, то в лужному – в бік зниження. І хоча такі зміни досить незначні, але і при вивченні впливу магнітного поля зміни цих параметрів мають невеликі значення, тому можуть нівелюватися першими.

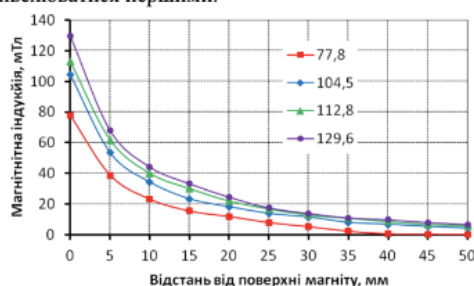


Рис. 2. Зміна величини магнітної індукції в залежності від відстані від поверхні магніту при різних її максимальних значеннях на поверхні магніту (мТл)

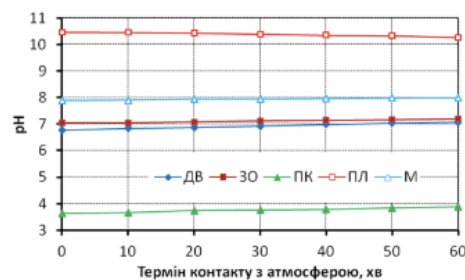


Рис. 3. Зміна величини рН в залежності від терміну контакту з атмосферою (ДВ – дистильована вода; ЗО – вода після зворотно осмотичної установки; ПК – підкислена ДВ; ПЛ – підлужена ДВ; М – природна вода з доведенням загальної жорсткості до рівня 27,4 мг-екв/дм³)

Необхідно також зважати на той факт, що в дослідях важливо використовувати хімічний посуд одного об'єму при однаковій площі контакту з атмосферою. Зрозуміло, що при зміні об'єму проби поглинання вуглекислого газу із атмосфери лишатиметься однаковим, що змінюватиме його концентрацію в модельних розчинах і, відповідно, зміна рН відбуватиметься з різною інтенсивністю. Як видно з рис. 4, при меншому об'ємі проби накопичення вуглекислого газу відбувається швидше і зміна рН з часом зростає крутіше. При збільшенні об'єму проби нахил кривої суттєво знижується.

Відомо, що постійне магнітне поле практично не впливає на фізико-хімічні властивості розчинів. Разом з тим, приведені вище фактори можуть суттєво змінювати експериментальні дані. Тому нами було проведено додаткові дослідження в цьому напрямку. Їх результати приведені на рис. 5.

Відразу зауважимо, що зміни питомої електропровідності відбувалися досить нестабільно і не дозволяють стверджувати про якусь залежність. Це ми пов'язуємо з тим фактом, що питома електропровідність зразків розчинів сягала 3000 мкСм/см, що практично нівелювало незначні зміни в результаті можливої дії магнітного поля. Очевидно, що такі досліді варто проводити з менш мінералізованими розчинами.

Щодо зміни рН, то тут зафіксовано постійне його збільшення при збільшенні терміну контакту з атмосферою та дії магнітного поля (рис. 5). І хоча такий ріст є досить незначним, він може свідчити про загальну тенденцію процесів, що проходять в розчині при контакті з атмосферою та дії магнітного поля. Причому, дія магнітного поля в цьому випадку або взагалі відсутня (що найбільш вірогідно з точки зору класичної фізики), або надзвичайно незначна. Результати вимірювання рН без обробки розчинів магнітним полем аналогічні результатам, отриманим при різних значеннях магнітної індукції. Як видно з рис. 5, не зафіксовано зміни результатів обробки водних розчинів зазначеного хімічного складу і при зміні полярності магнітного поля (графік, позначений *). Приведені вище результати отримані на установці, зображеній на рис. 1 і свідчать про те, що постійне магнітне поле суттєво на фізико-хімічні властивості розчинів не впливає і результати такого впливу не можуть бути зафіксовані шляхом вимірювання питомої електропровідності та водневого показника.

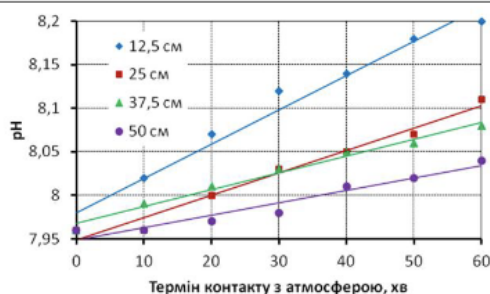


Рис.4. Зміна величини водневого показника в залежності від терміну контакту з атмосферою при різних значеннях товщини шару рідкої фази

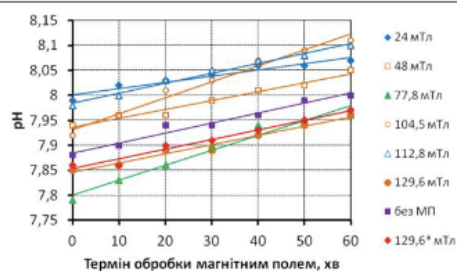


Рис.5. Зміна величини водневого показника в залежності від терміну контакту з атмосферою при різних значеннях магнітної індукції (* - при зміні полярності магнітного поля; без МП – без обробки магнітним полем)

Згідно сучасних уявлень, магнітне поле сильніше справляє вплив на рухомі розчини, на компоненти котрих можуть діяти різноманітні сили, наявні в рідкій фазі при перетині силових ліній магнітного поля [14]. Тому подальші наші дослідження проводили з рухомими розчинами на установці, зображеній на рис. 2. При цьому формування магнітного поля виконували шляхом набору кількох магнітів з проміжками між магнітами чи без них, однакової чи протилежної полярності і т.п. Результати таких досліджень представлені в табл. 1. Як видно з таблиці, встановити якусь залежність між інтенсивністю магнітного поля та основними параметрами обробленої ним жорсткої природної води неможливо. Приведені зміни знаходяться в межах похибок вимірювальних приладів. І ні збільшення шляху впливу магнітного поля, ні зміна полярності магнітів на отримані результати не впливають.

Таблиця 1

Вплив магнітного поля на фізико-хімічні параметри водних розчинів

№ п/п	Магнітна індукція, мТл	Швидкість потоку, м/с	Зміна питомої електропровідності, мкСм/см	Зміна рН, од
1	-	0,2	-	-
2	35,2		30	0,04
3	60,1		10	0,02
4	70,7		10	0,04
5	91,1		20	0,02
6	111,9		10	0,01
7	123,7		10	0,03
8*	67,2		50	0,03
9**	87,6		40	0,02

* - відстань між магнітами 5 мм; ** - зворотна полярність магнітів з відстанню між ними 5 мм

Виходячи із викладеного вище, в експериментах по дослідженню впливу магнітного поля на жорсткість води варто, на нашу думку, покладатися на результати безпосередніх аналізів вмісту іонів кальцію та магнію на різних етапах обробки. Але і тут може бути кілька варіантів. Найбільш близький до реальності варіант є розміщення нагрівача пристрою безпосередньо в модельному розчині. При цьому необхідно зважати, що частина іонів жорсткості залишатиметься в рідкій фазі, частина випадатиме у вигляді осаду і частина локалізуватиметься на нагрівачній поверхні. Аналізуючи зазначені три компоненти можливо чітко визначити ефективність магнітної обробки води.

Другий варіант передбачає нагрівання зразка модельного розчину до заданої температури джерелом, що розміщено ззовні ємкості – «водяна» чи «піщана» баня. В цьому випадку визначення розподілу твердої фази між осадом та накипом неможливе, оскільки матеріал посуду та її стан не відповідають реальним умовам. Тому можливо лише говорити про загальний стабілізаційний ефект магнітного поля. А якщо зважити на те, що згідно сучасних уявлень дія магнітного поля полягає у відтермінуванні процесу кристалізації карбонату кальцію і формуванні кристалів не на теплогенеруючій поверхні, а в об'ємі робочого розчину, то загальне зниження жорсткості розчину не може в повній мірі описати ефективність магнітної обробки водних розчинів.

Виходячи із викладених вище міркувань, нами було вибрано для досліджень перший варіант аналізу. Для визначення оптимальних умов обробки модельних розчинів було проведено ряд додаткових досліджень. Перш за все, було встановлено вплив температури на кристалізацію карбонату кальцію та утворення накипу на нагрівачному елементі (рис. 6). Як видно з рис. 6, найбільш інтенсивно зазначені параметри змінюються в діапазоні 20 – 60 °С. Далі процес дещо стабілізується. Таким чином, для аналізу впливу магнітного поля на жорсткість води можна вибрати відповідну температуру. Очевидно, що із збільшенням жорсткості води температуру аналізу можна знижувати і навпаки. Кількість накипу,

що осідає на теплогенеруючій поверхні, найпростіше визначати як різницю між початковою жорсткістю, залишковою жорсткістю та масою осаду, що випав в об'ємі розчину, приведеними до однакових одиниць. Найбільш прийнятною, на нашу думку, можна вважати температуру обробки модельних розчинів у 70 °С, яка є достатньою для кристалізації карбонату кальцію і дозволяє підтримувати близькі до виробничих умови.

Ще одним важливим параметром методики аналізу впливу магнітного поля на водні розчини є термін обробки при підвищених температурах. Проведені нами експерименти з модельними розчинами різної жорсткості на основі природної води показали, що термін нагрівання оброблених магнітним полем розчинів може бути обмеженим в 60 – 90 хв (рис. 7). Як видно з рисунку, протягом періоду в 60 хв кристалізується більшість сполук карбонату кальцію і подальше підтримання вказаної температури на залишкову жорсткість оброблених розчинів практично не впливає. Тому очевидно, що термін нагрівання модельних розчинів для отримання адекватних результатів можна обмежити в 70 хв. Саме цей термін вибрано для наших подальших досліджень.

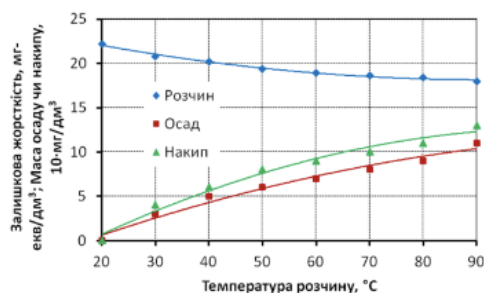


Рис.6. Результати обробки модельного розчину при різних температурах (початкова жорсткість – 22,2 мг-екв/дм³; $t = 30$ хв)

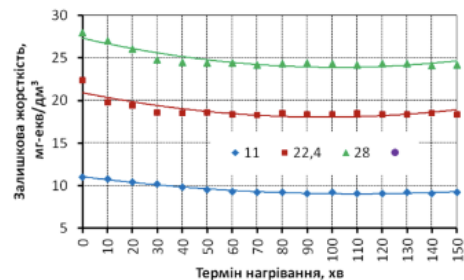


Рис.7. Результати обробки модельного розчину при температурі 70 °C з різною початковою жорсткістю

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведений цикл досліджень процесів обробки водних розчинів магнітним полем показав, що для отримання адекватних результатів щодо зміни жорсткості води та інтенсивності накипоутворення варто враховувати суттєву зміну магнітної індукції в кожній конкретній точці простору, залежність фізико – хімічних параметрів розчинів від терміну контакту розчину з атмосферою, неможливість однорідної обробки зразків розчинів по всьому об'єму. Крім цього, величина змін окремих факторів в результаті обробки магнітним полем досить незначна, тому може нівелюватися на фоні впливу навколишнього середовища, похибки приладу, незначних змін в умовах дослідів і т.п. Очевидно, що отримані в процесі досліджень результати підлягають прискіпливому аналізу з точки зору впливу всіх факторів і в процесі вивчення впливу магнітного поля на водні розчини підвищеної жорсткості варто виходити із контролю безпосередніх параметрів – залишкової жорсткості води та інтенсивності утворення осаду і накипу. Інші параметри, в силу їх незначної зміни в процесі експериментів, не можуть слугувати індикатором таких змін.

Подальші дослідження будуть присвячені вивченню впливу інтенсивності магнітного поля, швидкості руху води, початкової жорсткості води та її мінерального складу на ефективність обробки магнітним полем з метою зниження жорсткості та інтенсивності накипоутворення.

Література

1. Крупа М.М. Вплив електромагнітного поля на воду і водні розчини і очищення води / М.М. Крупа, О.В. Приймак, Н.О.Коваленко // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2017. – Вип. №9. – С. 124–131.
2. Савченко В.В. Магнітна обробка розчинів / В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, Р.О. Гонський // Енергетика і автоматика. – 2019. – № 2. – С. 16–28.
3. Higashitani K. Effects of a Magnetic Field on the Formation of CaCO_3 Particles / K. Higashitani, A. Kage, S. Katamura, K. Imai, S. Hatade // Journal of Colloid and Interface Science. – 1993. - Volume 156, Issue 1. – P. 90-95. – DOI: <https://doi.org/10.1006/jcis.1993.1085>.
4. Chibowski E. Magnetic water treatment – A review of the latest approaches / E. Chibowski, A. Szczeń // Chemosphere. – 2018. - Volume 203. – P. 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.160>
5. Kney A.D. A spectrophotometer-based study of magnetic water treatment: Assessment of ionic vs. surface mechanisms / A.D. Kney, S.A. Parsons // Water Research. – 2006. - Volume 40, Issue 3. – P. 517-524. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.019>.

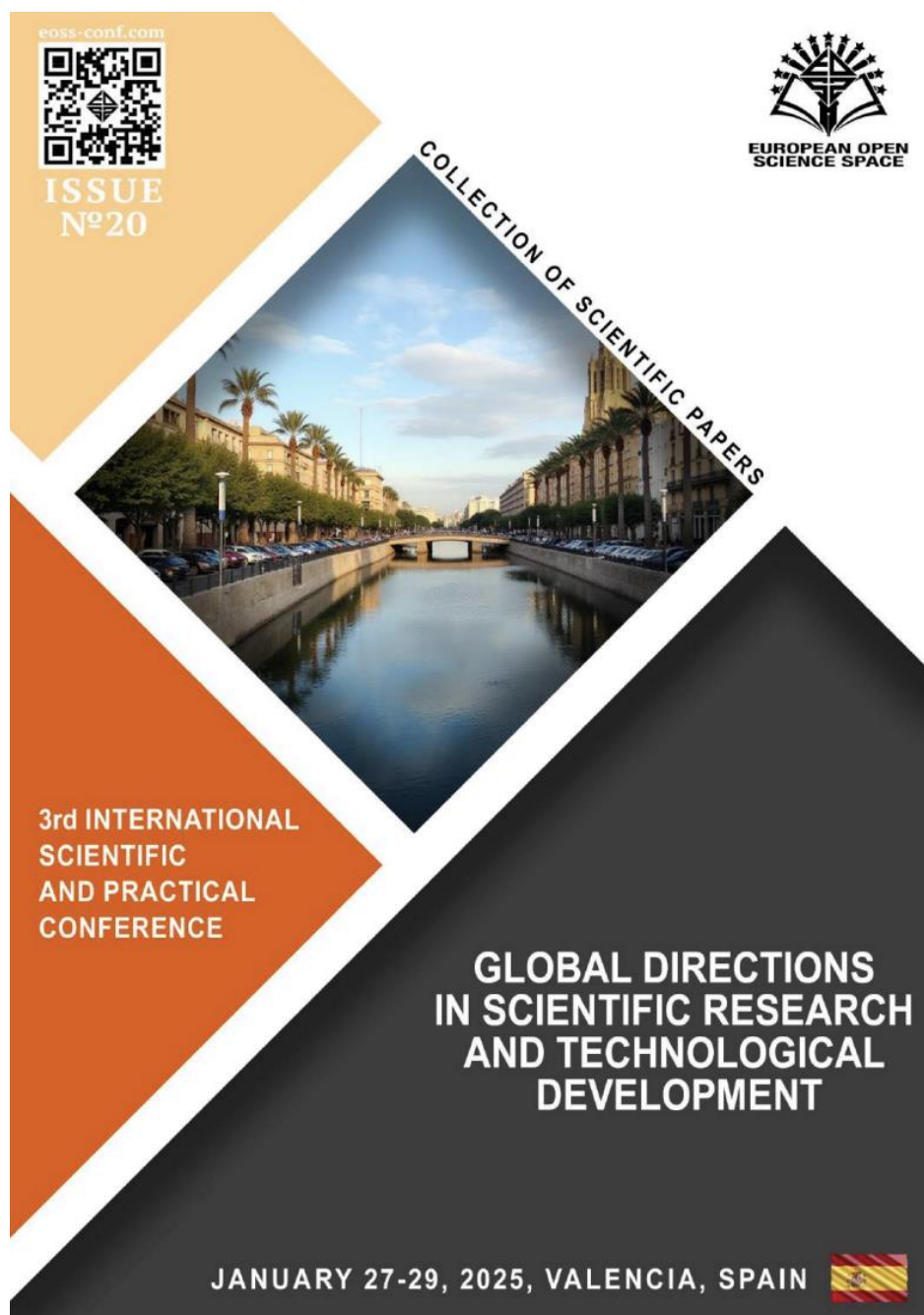
6. Chang K.-T. An investigation into the structure of aqueous NaCl electrolyte solutions under magnetic fields / K.-T. Chang, C.-I Weng // *Computational Materials Science*. - 2008. - Volume 43, Issue 4. - P. 1048-1055. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2008.02.020>.
7. Kitazawa K. Magnetic field effects on water, air and powders / K. Kitazawa, Y. Ikezoe, H. Uetake, N. Hirota // *Physica B: Condensed Matter*. - 2001. - Volumes 294-295. - P. 709-714. [https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(00\)00749-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(00)00749-3).
8. Holysz L. Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions / L. Holysz, A. Szczes, E. Chibowski // *Journal of Colloid and Interface Science*. - 2007. - Volume 316, Issue 2. - P. 996-1002. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.08.026>.
9. Coey J.M.D. Magnetic water treatment – how might it work? // *Philosophical Magazine*. - 2012. - Volume 92, Issue 31. - P. 3857-3865. <https://doi.org/10.1080/14786435.2012.685968>.
10. Гулевський В. Б. Поліпшення систем підготовки води для зрошення рослин за допомогою магнітного поля / В. Б. Гулевський, Ю. О. Постол, Р. В. Кушлик, Р. Р. Кушлик // *Праці ТДАТУ*. - 2020. - Вип. 20, Т. 4. - С. 168 – 174.
11. Штепа Є. П. Дослідження зміни властивостей питної води, соків та напоїв під впливом електромагнітної обробки / Є. П. Штепа, К. А. Михайлова // *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. - 2019. - Том 30, Ч. 2, №5. - С. 114 – 121.
12. Приймак О. В. Теоретичні основи обробки води омагніченою водою та її розчинами / О. В. Приймак // *Вісник КНУТД: матеріалознавство, легка та текстильна промисловість*. - 2009. - №5. - С. 145 – 151.
13. Наливайко О. І. Магнітна обробка нафти як метод боротьби з відкладеннями парафіну при її транспортуванні трубопроводами / О. І. Наливайко, А. М. Мангура, Л. Г. Наливайко // *Збірник наукових праць ПолтНТУ: галузеве машинобудування, будівництво*. - 2013. - №1, т.2. - С. 92 – 108.
14. Савченко В.В. Вплив магнітного поля на воду / В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, В.Я. Бунько // *Енергетика і автоматика*. - 2019. - № 1. - С. 6 – 15.

References

1. Krupa M.M. Vplyv elektromagnitnoho polia na vodu i vodiani rozchyny i ochyshchennia vody / M.M. Krupa, O.V. Pryimak, N.O.Kovalenko // *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*. - 2017. - Vyp. №9. - S. 124-131.
2. Savchenko V.V. Mahnitna obrobka rozchyniv / V.V. Savchenko, O.Iu. Syniavskiy, R.O. Honskiy // *Enerhetyka i avtomatyka*. - 2019. - № 2. - S. 16-28.
3. Higashitani K. Effects of a Magnetic Field on the Formation of CaCO₃ Particles / K. Higashitani, A. Kage, S. Katamura, K. Imai, S. Hatade // *Journal of Colloid and Interface Science*. - 1993. - Volume 156, Issue 1. - P. 90-95. - DOI: <https://doi.org/10.1006/jcis.1993.1085>.
4. Chibowski E. Magnetic water treatment – A review of the latest approaches / E. Chibowski, A. Szczes // *Chemosphere*. - 2018. - Volume 203. - P. 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.160>
5. Kney A.D. A spectrophotometer-based study of magnetic water treatment: Assessment of ionic vs. surface mechanisms / A.D. Kney, S.A. Parsons // *Water Research*. - 2006. - Volume 40, Issue 3. - P. 517-524. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.019>.
6. Chang K.-T. An investigation into the structure of aqueous NaCl electrolyte solutions under magnetic fields / K.-T. Chang, C.-I Weng // *Computational Materials Science*. - 2008. - Volume 43, Issue 4. - P. 1048-1055. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2008.02.020>.
7. Kitazawa K. Magnetic field effects on water, air and powders / K. Kitazawa, Y. Ikezoe, H. Uetake, N. Hirota // *Physica B: Condensed Matter*. - 2001. - Volumes 294-295. - P. 709-714. [https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(00\)00749-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(00)00749-3).
8. Holysz L. Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions / L. Holysz, A. Szczes, E. Chibowski // *Journal of Colloid and Interface Science*. - 2007. - Volume 316, Issue 2. - P. 996-1002. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.08.026>.
9. Coey J.M.D. Magnetic water treatment – how might it work? // *Philosophical Magazine*. - 2012. - Volume 92, Issue 31. - P. 3857-3865. <https://doi.org/10.1080/14786435.2012.685968>.
10. Hulevskiy V. B. Polipshennia system pidhotovky vody dlia zroshennia roslin za dopomohoiu mahnitnoho polia / V. B. Hulevskiy, Yu. O. Postol, R. V. Kushlyk, R. R. Kushlyk // *Pratsi TDAU*. - 2020. - Vyp. 20, T. 4. - S. 168 – 174.
11. Shtepa Ye. P. Doslidzhennia zminy vlastyvostei pytnoi vody, sokiv ta napoiv pid vplyvom elektromagnitnoi obrobky / Ye. P. Shtepa, K. A. Mykhailova // *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky*. - 2019. - Tom 30, Ch. 2, №5. - S. 114 – 121.
12. Pryimak O. V. Teoretychni osnovy obrobky vody omahnnichenoiu vodoiu ta yii rozchynamy / O. V. Pryimak // *Visnyk KNUUD: materialoznavstvo, lehka ta tekstylna promyslovist*. - 2009. - №5. - S. 145 – 151.
13. Nalyvaiko O. I. Mahnitna obrobka nafty yak metod borotby z vidkladenniamy parafinu pry yii transportuvanni truboprovodamy / O. I. Nalyvaiko, A. M. Manhura, L. H. Nalyvaiko // *Zbirnyk naukovykh prats PoltNTU: haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. - 2013. - №1, t.2. - S. 92 – 108.
14. Savchenko V.V. Vplyv mahnitnoho polia na vodu / V.V. Savchenko, O.Iu. Syniavskiy, V.Ia. Bunko // *Enerhetyka i avtomatyka*. - 2019. - № 1. - S. 6 – 15.

ДОДАТКИ ДОДАТОК Б

Вощенко Б., Радовенчик В., Меновщикова А. Особливості обробки води постійним магнітним полем // Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference «Global Directions in Scientific Research and Technological Development» (January 27-29, 2025. Valencia, Spain). European Open Science Space, 2025. 111 - 114 p.



Section: Technical Sciences**ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ВОДИ ПОСТІЙНИМ
МАГНІТНИМ ПОЛЕМ****Вощенко Богдан**

аспірант

Радовенчик Вячеслав

д.т.н, професор

Меновщикова Альона

здобувач вищої освіти магістерського рівня

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

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

Катастрофічне погіршення якості природних вод спонукає до проведення інтенсивних досліджень в галузі технологій водообробки та водоочищення. При цьому особлива перевага надається технологіям, які не пов'язані із застосуванням додаткових реагентів та вторинним забрудненням вод, що споживаються. Одним з таких перспективних напрямків вважається використання в технологіях обробки води фізичних факторів – магнітного та електричного полів, ультразвуку, вібрацій і т.п. Зважаючи на необхідність розробки та застосування в даних технологіях додаткового складного обладнання, широкого впровадження їх в системах водообробки не спостерігається. Варто також визнати, що більшість з цих фізичних процесів та їх вплив на водні структури досліджені сьогодні далеко недостатньо, хоча окремі із них вже стали звичними в промисловості. Мова йде, перш за все, про використання магнітної обробки води з метою попередження відкладання накипу на теплогенеруючих поверхнях [1]. Сьогодні галузі можливого використання магнітного поля значно розширюються – від обробки води для підвищення врожайності сільськогосподарських культур, знищення патогенної мікрофлори [2] і до обробки соків, напоїв [3] та нафти [4]. Проте жодна з цих галузей не вирізняється глибокими дослідженнями та вивченням процесів, що мають місце у випадку обробки магнітним полем. На сьогодні навіть в найбільш вивченій галузі використання магнітного поля для захисту енергетичного обладнання від накипоутворення єдиної думки щодо домінуючих процесів та факторів не існує. Тому очевидно, що дослідження в даній галузі є актуальними та своєчасними.

Метою даної роботи є визначення зміни фізико – хімічних властивостей водних розчинів підвищеної жорсткості при обробці в постійному магнітному полі. В якості модельних використовували природну воду загальної мінералізації 503 мг/дм³, кальцієва жорсткість якої шляхом додавання хлориду кальцію доведена до 27,4 мг-екв/дм³. В якості постійного магнітного поля

використовували феритові магніти діаметром 50 мм. Вимірювання магнітної індукції проводили тесламетром TD 8620, вимірювання параметрів розчинів – TDS-метром pH-686.

При проведенні досліджень з використанням магнітного поля варто звертати увагу на той факт, що магнітне поле відноситься до факторів близької дії. Як видно з рис. 1, вже на відстані 5 мм від поверхні магніту величина магнітної індукції знижується вдвічі, а при віддаленні на 50 мм – спадає до 3 – 45 Gs. А це призводить до того, що різні шари рідкої фази будуть піддаватися дії магнітного поля різної величини. Відповідно, перед проведенням хімічних аналізів розчини варто ретельно перемішувати для отримання адекватних результатів.

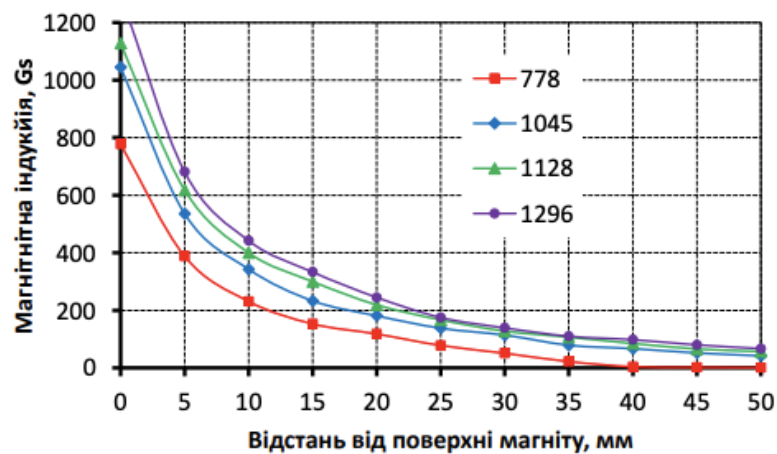


Рисунок 1. Зміна величини магнітної індукції в залежності від відстані від поверхні магніту

Вплив нерівномірності розповсюдження магнітного поля ілюструє також рис. 2, де показано результати обробки магнітним полем величиною 1296 Gs зразків зазначеного вище розчину з різною товщиною рідини. З рис. 2 можна зробити висновок про досить різний вплив магнітного поля на водні розчини.

Методика досліджень полягала в розміщенні зразка розчину в магнітному полі з відповідним значенням магнітної індукції, витримування зразка протягом визначеного часу та аналіз зміни його водневого показника та питомої електропровідності. Відразу зауважимо, що зміни питомої електропровідності відбувалися досить нестабільно і не дозволяють стверджувати про якусь залежність. Це ми пов'язуємо з тим фактом, що питома електропровідність зразків розчинів сягала 3000 мкСм/см, що практично нівелювало незначні зміни в результаті дії магнітного поля. Очевидно, що такі досліди варто проводити з менш мінералізованими розчинами. Щодо зміни pH, то тут зафіксовано постійне його збільшення при збільшенні терміну дії магнітного поля (рис. 3). І хоча такий ріст є досить незначним, він може свідчити про загальну тенденцію процесів, що проходять в розчині при дії магнітного поля. Для виключення впливу атмосферного повітря на результати обробки зразків розчинів нами було проведено аналогічні дослідження в умовах відсутності доступу повітря

до дослідного зразка. Як видно з рис. 3 (графік, позначений **), результати дослідів, проведених при тій же індукції магнітного поля, практично ідентичні. Так само не зафіксовано зміни результатів обробки водних розчинів зазначеного хімічного складу і при зміні полярності магнітного поля (графік, позначений *).

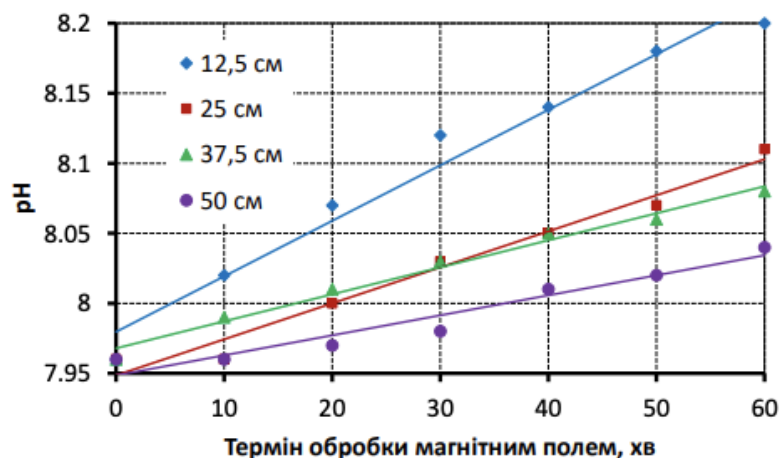


Рисунок 2. Зміна величини водневого показника в залежності від терміну обробки магнітним полем при різних значеннях товщини шару рідкої фази

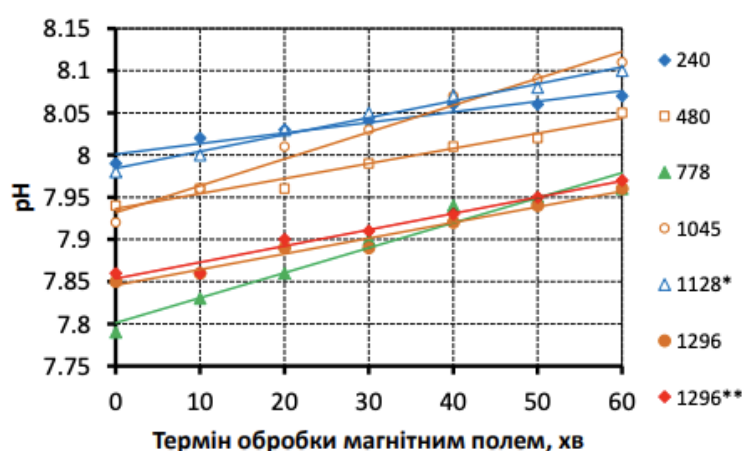


Рисунок 3. Зміна величини водневого показника в залежності від терміну обробки магнітним полем при різних значеннях магнітної індукції (* - при зміні полярності магнітного поля; ** - без доступу повітря)

Таким чином, при обробці водних розчинів постійним магнітним полем для отримання адекватних результатів варто враховувати суттєву зміну магнітної індукції в кожній конкретній точці простору, залежність фізико – хімічних параметрів розчинів від терміну обробки магнітним полем, неможливість однорідної обробки зразків розчинів по всьому об'єму.

Очевидно, що отримані результати підлягають прискіпливому аналізу з точки зору впливу всіх факторів.

Список використаних джерел

1. Классен В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен В. И. – Москва: Химия, 1978. – 240 с.
2. Савченко В. В. Вплив магнітного поля на воду / В. В. Савченко, О. Ю. Синявський, В. Я. Бунько // Енергетика і автоматика. – 2019. - №1. – С. 6 – 15.
3. Штепа Є. П. Дослідження зміни властивостей питної води, соків та напоїв під впливом електромагнітної обробки / Є. П. Штепа, К. А. Михайлова // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2019. - Том 30, Ч. 2 № 5. - С. 114 – 121.
4. Наливайко О. І. Магнітна обробка нафти як метод боротьби з відкладеннями парафіну при її транспортуванні трубопроводами / О. І. Наливайко, А. М. Мангура, Л. Г. Наливайко // Збірник наукових праць ПолтНТУ (галузеве машинобудування, будівництво). – 2013. - №1(36), т.2. - С. 92 – 108.

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРОЗЛИВНИХ КІВШІВ В УМОВАХ ПРАТ МК «АЗОВСТАЛЬ»

Бакланський Валентин Михайлович

к.т.н., доцент

Тарасюк Леонід Іванович

к.т.н., доцент

Кафедра обробки металів тиском

Приазовський державний технічний університет, місто Дніпро, Україна

Анотація. У статі розглядається підвищення стійкості футерівки металургійних агрегатів як одну з основних завдань в напрямку зниження собівартості металу. На стійкість вогнетривкої футерівки сталерозливного ківшу впливають різні фактори, які умовно можна розділити на три типи:

1) конструктивні, тобто конструкція як самого агрегату, так і схема футерівки;

2) технологічні, тобто фізико-хімічні властивості шлаків, що наводяться на агрегаті «ківш-піч»;

3) фізико-хімічні властивості вогнетривких виробів.

Аналіз літературних джерел показав, що питання якості вогнетривких матеріалів для агрегатів ковшової обробки сталі досить добре вивчений, у футеровці агрегатів використовуються вироби з оптимальними фізико-хімічними властивостями. Подальше підвищення якості вогнетривків, тобто