

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра Хімічні технології та хімічне машинобудування

До захисту допущено Зав.
кафедрою «Хімічні технології та
хімічне машинобудування»

(підпис) Збиковський Є.І.
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2021р

Випускна кваліфікаційна робота
магістра

на тему: Дослідження ефективності процесу очищення води від нітратів іонообмінними смола фірми HYDROLITE

Виконав: студента 2 курсу, групи ХТм-20
(шифр групи)

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Лєвтеров О.О.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник к.т.н, доцент, доцент каф.ХТХМ Каулін В.Ю
(посада, науковий ступень, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Кутняшенко О.І., к.т.н, доцент
(посада, науковий ступень, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра хімічні технології та хімічне машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 161 «Хімічні технології та інженерія».

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри
Збиковський Є.І. / _____ /
« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Левтеров Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження ефективності процесу очищення води від нітратів іонообмінними смолами фірми Hydrolite

Керівник роботи к.т.н, доцент, доцент каф. ХТ Каулін В.Ю.

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

затвердженні наказом від «9» вересня 2021 року

2. Строк подання студентом роботи: 21 грудня 2021
3. Вихідні данні до проекту(роботи):
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки(перелік питань які необхідно розробити): літературний аналіз способів очищення води від нітратів; теоретичні основи методу очищення води іонним обміном; основи методології дослідження; експериментальне дослідження процесу очищення води від нітратів.
5. Перелік графічного матеріалу(з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту(роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Сімонова Ю.І.		
Нормо-контроль	Швець І.І.		

7. Дата видачі завдання 6 вересня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту(роботи)	Строк виконання етапів проекту(роботи)	Примітка
1	Літературний аналіз способів очищення води від нітратів	06.09-26.09	
2	Теоретичні основи методу очищення води іонним обміном	26.09-18.10	
3	Основи методології дослідження	18.10-01.11	
4	Експериментальне дослідження процесу очищення води від нітратів	01.11-06.12	
5	Захист дипломної роботи	21.12	

Студент

Керівник

(підпис)

(підпис)

Лєвтеров О.О.
(прізвище та ініціали)

Каулін В.Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лєвтеров О.О. «Дослідження ефективності процесу очищення води від нітратів іонообмінними смолами фірми Hydrolite». Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 161 Хімічна технологія та інженерія – Державний вищий навчальний заклад Донецький національний технічний університет, м.Покровськ, 2021. У роботі розглянуто методи видалення нітратів з води, фізико-хімічні основи процесу іонного обміну, методи підготовки іонітів до дослідження, методи визначення вологи іонітів, статичної обмінної ємності, динамічної обмінної ємності, методи визначення нітратів у воді, методи визначення гідрокарбонатів у воді, методи визначення сульфатів у воді, досліджено здатність поглинання нітратів іонообмінними смола, кінетику поглинання нітратів, здатність поглинання нітратів у розчинах з гідрокарбонатами та сульфатами.

ВОДА, НІТРАТИ, ВИЗНАЧЕННЯ, ІОНООБМІННА СМОЛА, ОБМІННА
ЄМНІСТЬ, АНІОНІТ, ГІДРОКАРБОНАТИ, СУЛЬФАТИ

ANNOTATION

Lievtierov OO "Investigation of the effectiveness of the water purification process from nitrates by ion exchange resins of Hydrolite". Final qualification work for the degree of "Master" in specialty 161 Chemical Technology and Engineering - State Higher Educational Institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, 2021. Methods of preparation of ion exchangers for research, methods of determination of ion exchange resin moisture, static exchange capacity, dynamic exchange capacity, methods of determination of nitrates in water, methods of determination of bicarbonates in water, methods of determination of sulfates in water. nitrates in solutions with bicarbonates and sulfates.

WATER, NITRATES, DETERMINATION, ION EXCHANGE RESIN,
EXCHANGE TANK, ANIONITE, HYDROCARBONATES, SULPHATES

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД НІТРАТІВ	8
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ІОННИМ ОБМІНОМ	27
3 ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	40
3.1 Підготовка іоніту	40
3.2 Методика визначення статичної та динамічної ємності	42
3.3 Методика визначення нітратів	45
3.4 Методика визначення гідрокарбонатів	49
3.5 Методика визначення сульфатів	49
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД НІТРАТІВ	51
4.1 Експериментальне визначення характеристик досліджуваних смол	51
4.2 Дослідження здатності поглинання нітратів	58
4.3 Дослідження кінетики поглинання нітратів	68
4.4 Дослідження ефективності поглинання нітратів у присутності гідрокарбонатів	80
4.5 Дослідження здатності поглинання нітратів у розчині з сульфатами	110
ВИСНОВКИ	130
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	132
ДОДАТОК А	135

ВСТУП

Мета роботи: дослідження ефективності процесу очищення води від нітратів іонообмінними смолами фірми HYDROLITE

Об'єкт дослідження: процес очищення води від нітратів методом іонного обміну

Предмет дослідження: іонообмінні смоли: сильноосновний аніоніт ZGA 304; макропористий сильноосновний аніоніт ZGD 890; модельні нітратні води

На сьогоднішній день у місті Покровськ є велика проблема з водою колодязів та свердловин, а саме вміст нітратів.

Вирішенням цієї проблеми є дослідження методів очищення питної води від різних хімічних домішок, та обрання найефективнішого та дешевшого методу.

У лабораторії води ДонНТУ було встановлено якість води з різних колодязів та свердловин міста Покровськ. І як виявилось, що майже всі зразки були непридатні до споживання. Одним з основних показників, що перевищував норму, був вміст нітратів ($C=100-500$ мг/л). Також були перевищення за загальною твердістю та іноді за вмістом амонію. На жаль, споживання такої води може призвести до великих проблем зі здоров'ям. І тому я вважаю, що дана проблема є актуальною.

Нітрати – це солі нітратної кислоти, які утворюються шляхом розкладання органічних речовин. Існують також і неорганічні нітрати, які є розповсюдженим компонентом добрив.

Небезпекою нітратів є їх токсична дія на організм. При великому накопиченні в організмі нітрати вступають у реакцію з гемоглобіном, утворюючи при цьому метгемоглобін, та викликають метгемоглобенію. Це призводить до кисневого голодування тканин, що призводить до погіршення стану людини. Також нітрати шкодять нервовій, серцево-судинній системам та шлунково-кишковому тракту.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД НІТРАТІВ

Провівши літературний аналіз було встановлено, що є багато методів видалення нітратів з води, кожен з яких має ряд як переваг та недоліків.

Зворотній осмос – це метод очищення, який заснований на пропусканні води крізь напівпроникну мембрану, яка затримує гідратовані іони. Наприклад, якщо в посуді між прісною та солоною водою помістити напівпроникну перегородку, яка здатна пропускати воду, то можна буде спостерігати, як прісна вода почне перетікати у відсік з солоною водою. Таке явище обумовлене різницею концентрацій рідини по обом сторонам перегородки. Через деякий час рівень прісної води буде значно нижчим рівня солоного розчину. Різниця рівнів після встановленої рівноваги характеризує осмотичний тиск розчиненої речовини. Тоді осмосом називається процес перетікання менш концентрованого розчину в більш концентрований, який протікає самовільно через напівпроникну мембрану. Якщо у солоному розчині створити тиск, який буде більшим за осмотичний, тоді буде проходити перетік молекул прісної води в напрямку, зворотному її природному руху, тобто вода з розчину почне перетікати через перегородку в прісну воду. Такий процес називається зворотнім осмосом.

Отже, метод зворотного осмосу базується на опрісненні солоної води шляхом перетікання молекул води з розчину при створенні тиску, який перевищує осмотичний, в напрямку від розчину до прісної води через напівпроникну перегородку.

Напівпроникну перегородку потрібно обирати з таким розрахунком, щоб через її пори могли проходити молекули води, але не могли проходити іони солей, які розчинені у воді. Оскільки іони солей у півтора рази більші за іони води, то такий процес розділення іонів солей та молекул води можливий. Так як молекули води здатні протікати через пори, які занадто вузькі для проходження іонів солей, то це явище ще називають гіперфільтрацією.

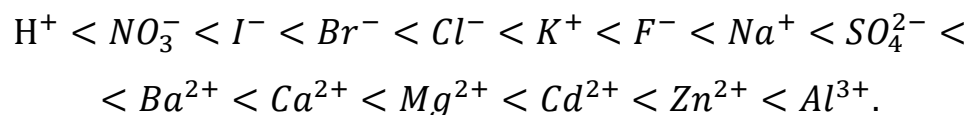
Такі установки можуть бути виконані у вигляді металевих плит, які стягують пакети пластин з пористої бронзи, по обом сторонам яких розташовані напівпроникні перегородки – мембрани. Солонa вода подається у простір між двома мембранами під тиском приблизно 10 МПа. Пористі бронзові плити є дренажною системою, через яку проходить прісна вода.

У порівнянні зі звичайним процесом фільтрації в хімічній технології та водопідготовці зворотній осмос дуже сильно відрізняється від нього. При фільтруванні стічний та природних вод, які являють собою гетерогенну систему. Зазвичай необхідно затримувати зважені частинки різного розміру. У зворотноосмотичній обробці підлягають в основному гомогенні системи – істинні розчини, в яких затримуваною речовиною є іони або молекули. Ця характерна особливість обумовлюється різницями як за типом фільтруючого середовища, так і за величиною тисків, під дією яких проходять процеси. Величина пор у зворотноосмотичних мембранах значно менша, чим в середовищах, які використовують для фільтрування, що обумовлює значні втрати напору при проштовхуванні навіть дистильованої води. При проштовхуванні розчину через напівпроникну мембрану виникає додаткова протидіюча сила, яка практично відсутня при фільтруванні – різниця осмотичних тисків вихідного розчину і фільтрату, величина якої може бути порівняна з величиною робочого тиску, який діє на вихідний розчин.

Найголовнішою різницею між процесами фільтрації та зворотного осмосу є те, що при фільтрації частки, які видаляються з води залишаються або на поверхні, або в самому фільтруючому середовищі, що змінюють через деякий час (наприклад це можуть бути наливні фільтри), або таке що очищують зворотною промивкою (освітлюючі фільтри). У зворотному осмосі речовини, що затримуються не повинні відкладатися на поверхні, або в об'ємі мембран, тому, що може це дуже шкідливий процес який заважає розділенню розчинів. В даному процесі сорбція речовин мембраною відсутня, то необхідно постійно їх видаляти з поверхні мембрани. Якщо цього не робити, то ці речовини будуть накопичуватися на поверхні, і це приведе до підвищення

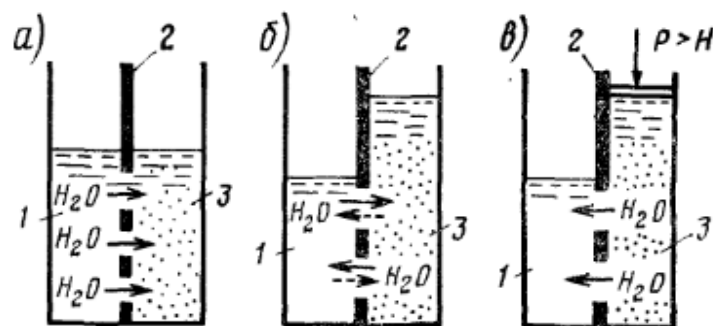
осмотичного тиску у розчині. При досягненні осмотичним тиском такої величини, яка буде дорівнювати гідростатичному тиску тоді рушійна сила процесу буде дорівнювати нулю. При неповному затриманні розчиненої речовини мембраною збільшиться її кількість біля поверхні мембрани. Це може привести до проникнення цієї речовини в фільтрат. Зростання концентрації біля поверхні мембрани розчинених речовин зупиниться тільки коли буде дорівнювати одне одному солеві потоки, які направлені до мембрани та в зворотному напрямку. Отже якщо не видаляти розчинені речовини з поверхні напівпроникної мембрани, то концентрація розчинених речовин в фільтраті та у вихідному розчині не зміниться, а процес проштовхування не буде зупинятися.

Можна скласти іони у порядку збільшення затримання, який відповідає ряду збільшення енергії гідратації:



Таке явище як затримка одновалентних іонів з багатокомпонентних розчинів у порівнянні з затримкою їх з бінарних розчинів дуже відоме у зворотному осмосі.

На рисунку 1.1 показано схему опріснення води методом зворотного осмосу.

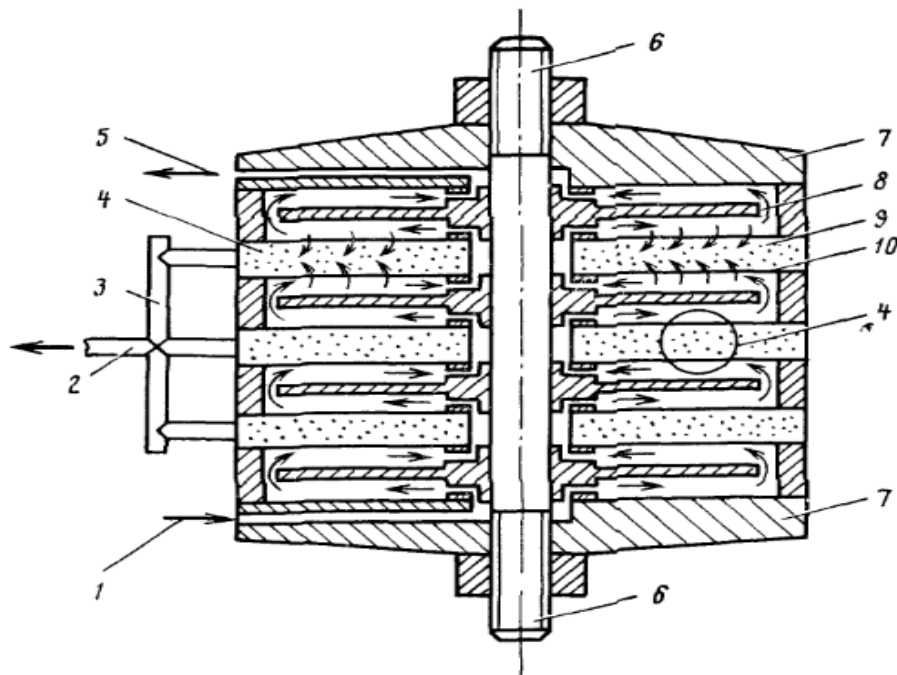


а – початок осмотичного переносу; б – стан рівноваги; в – зворотний осмос під зовнішнім тиском $p > H$; 1 – вода; 2 – напівпроникна мембрана; 3 – розчин солей.

Рисунок 1.1 – Схема руху води крізь напівпроникну мембрану

Процес опріснення води методом зворотного осмосу проходить без фазових перетворень, а енергіє витрачається на створення тиску вихідної води, тобто середовища яке майже не стискається. В розчинах, склад яких приблизно однаковий з природними водами осмотичний тиск навіть при невеликому ступені мінералізації достатньо великий. Для морської води при вмісті солей близько 3%, осмотичний тиск становить 2,5 МПа. Тиск в установках по опрісненню води рекомендується підтримувати більше 5 МПа, тому що їх продуктивність залежить від різниці осмотичного и робочого тисків.

Установки зворотного осмосу мають просту конструкцію. Головними компонентами установки є насоси, що створюють тиск та розділові комірки наповнені напівпроникною мембраною. На рисунку 1.2 показано конструкції такого апарату.



1,2 – подача вихідної та відвід опрісненої води; 3 – загальний колектор опрісненої води; 4 – фільтруючі елементи; 5 – відвід концентрату; 6 – стяжний стрижень; 7 – стяжні круглі в плані фланці; 8 – розділові диски; 9 – опорна пластина; 10 – мембрани.

Рисунок 1.2 – апарат зворотного осмосу

Для фільтрування розчинів використовують напівпроникні мембрани типу МГА (мембрани гіперфільтруючі ацетилцелюлозні), які виготовляють з синтетичних смол. Мембрани типу МГА виготовляють з ацетилцелюлози методом сухо-мокрого формування. Селективність та продуктивність таких мембран сильно залежить від того, через яку поверхню проходить фільтрування розчину.

Недоліком таких мембран є нездатність зберігати свій первісний властивості в сухому вигляді. Тому їх потрібно зберігати в набряклому стані. Також потрібно витримувати постійну температуру та рН середовища, в якому зберігається мембрана щоб уникнути гідролізу ацетилцелюлози. Найбільше підходить для зберігання мембрани розчин сульфату міді.

Існує чотири гіпотези, що пояснюють процес розділення солей і води при фільтруванні крізь напівпроникну мембрану:

а) дії мембрани пояснюються ультрафільтрацією або механізмом просіювання – крізь пори мембрани проходять молекули води та не проходять молекули і іони розчинених речовин;

б) згідно з дифузійною теорією передбачається, що компоненти системи, що розділяється розчиняються в матеріалі діафрагми та дифундують крізь неї; селективність при цьому пояснюється різницею коефіцієнтів дифузії та розчинності компонентів;

в) передбачається, що вода в структурі ацетилцелюлозних мембран може знаходитися у зв'язаному або в капілярному стані; в першому випадку вона водневими зв'язками з'єднується з киснем карбонільних груп матеріалу мембрани, у другому – заповнює відносно крупні пори, створюючи при цьому селективний бар'єр, оскільки іони солей не здатні створювати водневі зв'язки, тому через мембрану проходить тільки чиста вода, безперервно створюючи та розриваючи водневі зв'язки;

г) передбачається, що у водному розчині на поверхні гідрофільної мембрани в результаті від'ємної адсорбції утворюється шар чистої води, тому

якщо пори в мембрані не перевищують подвійної товщини такого шару, через них може проходити лише чиста вода.

Дослідами багатьох авторів показана неспроможність в деяких випадках дифузійної та ультрафільтраційної теорій. Більшість експериментальних даних свідчить про капілярній течії рідин в набряклих мембранах. Селективність таких мембран пояснюється властивостями рідин в капілярах. Капілярна модель напівпроникних мембран добре пояснює зниження селективності з ростом концентрації розчину, а також зміною затримуючої здатності ацетилцелюлозних мембран в водних розчинах [6].

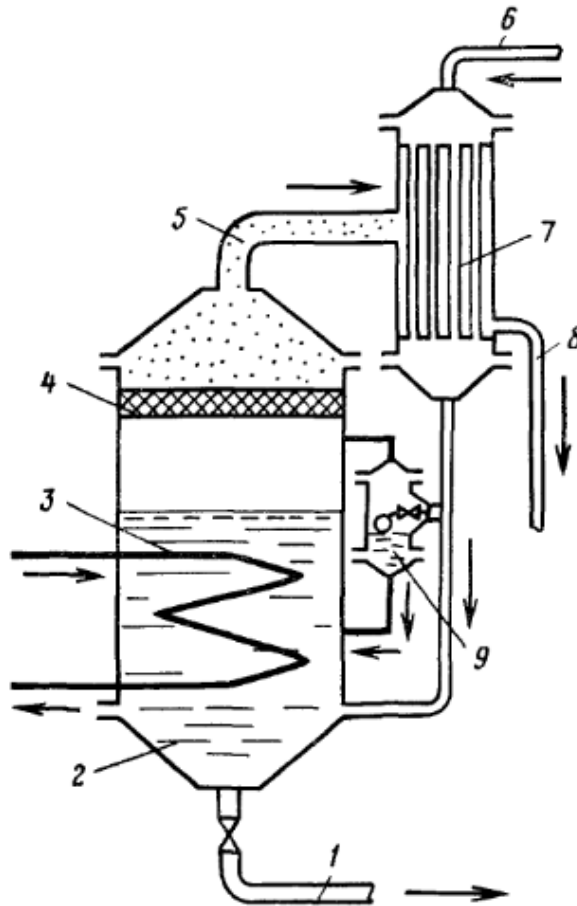
Метод дистиляції – це метод очищення води шляхом її нагрівання та випаровування. Під час випаровування вода розкладається на прісний пар та на солоний розсол. З латинського «дистилляціо» переводиться як переганяти з метою очищення або стікати краплями. Це найбільш старий метод опріснення води. Близько 90 % всіх установок у світі займають саме дистиляційні.

Такі дистиляційні установки розрізняють за технологією отримання прісної води, за конструкцією апаратів, за використанням додаткової апаратури, за мобільністю та інше. Також існує дуже багато джерел енергії, що витрачається на роботу установок. Наприклад є установки, що працюють на твердому паливі, на атомній або сонячній енергії і т.д. Навіть існують установки, що використовують тепло на теплових електростанціях.

Процес дистиляції засновано на нагріванні води до температури, що більша за температуру кипіння. При цьому з води починає виділятися пара, яка не здатна розчиняти солі, які знаходяться у воді. Так при його конденсації отримують прісну воду. Для того щоб перевести в пар 1 кілограм води потрібно нагріти її до температури кипіння та підвести додатково тепло фазового перетворення, тобто скриту теплоту пароутворення, яка при 100 °C дорівнює 540 ккал/кг. Для того щоб сконденсувати водяну пару потрібно відняти тепло фазового перетворення. Також значну кількість цього тепла можна повернути назад до установки, тобто рекуперовано. Теплова

економічність буде тим більша, чим більше тепла буде рекуперовано до установки.

За методом використання тепла та ступня його рекуперації дистиляційні установки можна поділити на одноступеневі, багатоступеневі та термокомпресійні. На рисунку 1.3 показано схему одноступеневої дистиляційної установки.



- 1 – відвід розсолу; 2 – випарник; 3 – подача теплоносія; 4 – сепаратор;
 5 – відвід пари; 6, 8 – подача вихідної та відвід дистильованої води;
 7 – конденсатор; 9 – регулятор рівня.

Рисунок 1.3 – схема одноступеневої дистиляційної установки

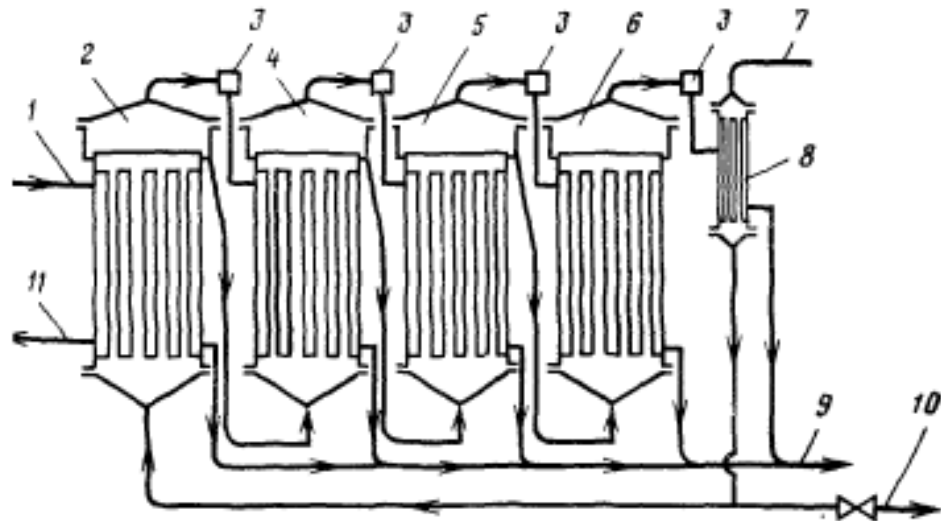
Принцип роботи такої установки полягає у наступному. Солоня вода подається крізь конденсатор-підігрівач у випарник, де вона нагрівається та починає випаровуватися за рахунок тепла теплоносія, що циркулюється у змійовику, який розташовано в шарі води. Водяна пара, що утворилась

надходить в конденсатор, де охолоджується та конденсується. В якості охолоджуючого агенту використовують вихідну солону воду, тобто тепло конденсації використовують для підігрівання на вході вихідної води. Для того щоб уникнути втрату крапель в киплячому шарі солоної води разом з парою використовують сепаруючу установку. Для підтримки рівня води використовують спеціальні регулятори рівня. Зазвичай випаровують до 50 % солоної води. Розсіл, що залишається видаляють з випарника.

Об'єм випарника зазвичай розділяють на паровий і водяний, а межу розділення називають дзеркалом випаровування. Існують випарники з природною та штучною циркуляцією води, горизонтальні або вертикальні, випарники, що працюють під тиском вищим або нижчим атмосферного.

Багатоступеневі дистиляційні установки складаються з декількох дистиляційних апаратів, що з'єднані між собою послідовно. В такій схемі пара з попереднього апарату використовується в якості гріючої пари для випаровування води у наступному апараті. Солонa вода надходить в кінцевий конденсатор, де охолоджуючи пару останньої ступені, конденсує її, і нагрівається за рахунок тепла конденсації. Частина солоної води скидається як стічні води, а інша частина надходить у першу ступінь випарника, де вона нагрівається до температури кипіння за рахунок пари з вихідного парогенератора. Утворена пара конденсується, утворений конденсат відводиться у парогенератор. Далі пара з випарника першого ступеня проходить через сепаратор у другий корпус випарника, де він виконує роль гріючої пари. Солонa вода, що не випарувалась надходить у другий корпус, де нагрівається за рахунок тепла конденсації пари та знову частково випаровується менших температурі та тиску, ніж у першому корпусі. Можна припустити, наприклад, у першому корпусі температура кипіння складає 100 °C, то в наступних трьох ступенях відповідно температура буде 95 °C, 90 °C та 85 °C. Таке явище пояснюється зниженням тиску у кожній наступній ступені до тиску, що нижче атмосферного. Так як відомо, що при зниженні тиску у випарнику температура кипіння солоної води також буде знижуватись.

Конденсат відводиться в бак для опрісненої води насосом з кожного корпусу випарника. На рисунку 1.4 показано багатоступеневу дистиляційну установку.



1 – теплоносій; 2, 4, 5, 6 – випарники I, II, III та IV ступеня; 3 – сепаратор; 7, 9 – вихідна та опріснена вода; 8 – конденсатор; 10 – викид розсолу; 11 – відвід конденсату до парогенератору.

Рисунок 1.4 – Багатоступенева дистиляційна установка

Чим більше буде число ступеней випаровування, тим економічною буде установка. Але зі збільшенням ступеней випаровування зменшується температурний перепад по кожній з них. Також збільшується загальна поверхня нагріву апаратів та розміри опріснювальної установки, і відповідно при цьому збільшуються капітальні витрати на обслуговування такої установки.

При тривалій роботі опріснювальної відбувається відкладення солей, які утворюють шар накипу на нагрівальних елементах конденсаторів та випарників. При цьому накип зменшує температуру нагрівання води та погіршує теплопередачу та роботу всіх агрегатів опріснювальної установки. У зв'язку з цим потрібно одразу це враховувати та приймати заходи, що будуть заважати утворенню накипу, тобто проектувати періодичну установку для очищення опріснювальної установки від накипу.

Очистити робочу поверхню опріснювальної установки від накипу можна трьома способами: хімічним, механічним та технічним шляхом. Кожен з методів очищення потребує часу, та підвищує зношення робочої поверхні та потребує підвищення витрат на обслуговування. В результаті чого при роботі установки протягом 30 діб коефіцієнт теплопередачі зменшується приблизно у 5-10 разів, і при цьому відповідно також зменшується продуктивність у 5 разів нижче по початкової. У підсумку всього цього вартість опрісненої води збільшиться також приблизно у 5 разів.

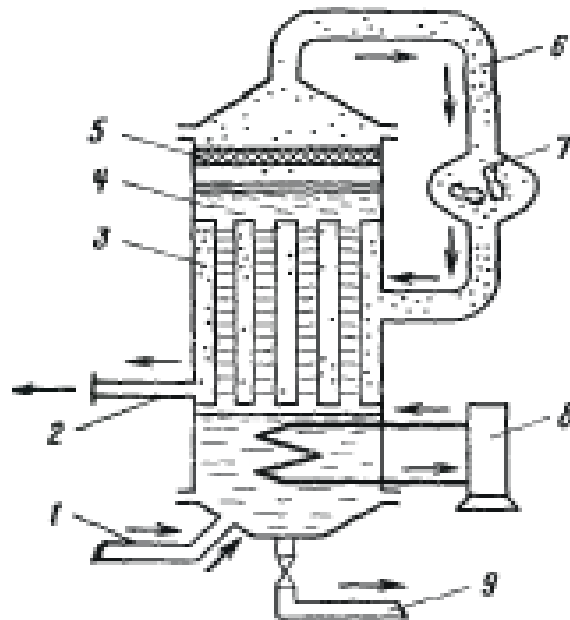
В даний час використовується дуже багато методів захисту від накипу, наприклад є методи з використанням реагентів та без використання них. Методи з використанням реагентів включають в себе фізичні, при яких у воду додаються присадки, які не вступають у хімічну реакцію з водою, та хімічні, такі як: підкислення, підлуження, содово-вапняковий метод та інше. У методах без використання реагентів в основному застосовують електричну обробку води — магнітний, ультразвуковий, електроразрядний та електрополяризаційний.

Кожен з таких дистиляційних методів має ряд як переваг так і недоліків в залежності від обраної технології опріснення. Для цього споруджують додаткові установки попереднього пом'якшення води до того, як вона буде надходити у випарник. Але такі установки мають великі розміри та вартість. Тому замість попереднього пом'якшення проводять внутрішньокотлову обробку з метою переведення накипоутворювачів у шлам, який буде легко видалити разом з розсолем при продуванні випарників.

Для того щоб знизити інтенсивність накипоутворення у воду, що обробляють вводять дрібнозернисті присадки: вапняку, кварцового піску, гідроксиду магнію та інших речовин. Режим роботи без утворення накипу у випарниках досягається також при створенні глибокого вакууму у випарниках, що дає можливість знизити температуру випаровування води до 50 °C та нижче. Також хороші результати у боротьбі з накипоутворення показали магнітна та ультразвукова обробка води.

Для підвищення економічності таких випарних установок можливе використання в їх схемі термокомпресора (парокомпресора), дія якого полягає в тому, що отримана у випарнику пара буде стискатися компресором, в результаті чого її температура буде підвищуватися на декілька градусів у порівнянні з початковою, а потім знову повертається у випарник в якості гріючої пари. Конденсуючись на стінці випарника, пара віддає своє тепло солоній воді, за рахунок чого вона знову випаровується. Вихідне тепло установки отримують у вигляді механічної або електричної енергії, що витрачається на привід термокомпресору.

На рисунку 1.5 показано схему такої установки



1, 2 – подача вихідної, та відвід опрісненої води; 3 – теплообмінник-конденсатор; 4 – випарник; 5 – сепаратор; 6 – вторинна пара; 7 – вакуум-компресор; 8 – пусковий котел; 9 – скид розсолу.

Рисунок 1.5 – Термокомпресійна опріснювальна установка

Така опріснювальна установка працює за наступною схемою. Солоня вода надходить у випарник, де в результаті вакуум-компресору створюється вакуум. Солоня вода кипить у вакуумі та її пари відводяться крізь сепаратор та стискаються компресором. Механічна робота, що витрачається під час

стиснення переходить в тепло, і при цьому пара нагрівається до більшої температури ніж температура солоної води у випарнику, та надходить у теплообмінник, який занурено у воду, що випаровується. При цьому пара конденсується, і тепло конденсації використовується для нової порції води. Для першого запуску установки використовують стартовий котел, який спрямовує тепло до підігрівача води у перший період роботи установки.

Термокомпресійні опріснювальні установки можуть бути одноступінчастими та багатоступінчастими. Вони можуть мати вакуумні випарники або випарники, що працюють під атмосферним тиском або випарники, що працюють під тиском, що більший за атмосферний. За характером кипіння можуть бути: плівкові, в яких кипіння проходить у тонкій плівці води, що рухається по поверхні теплопередачі; з кипінням в товщі води, що випаровується; з винесеною зоною кипіння (так звані адіабатні).

В літературних джерелах сказано, що для таких дистиляційних установок потрібне джерело механічної або електричної енергії. Тому як їх економічність напряму залежить від способу перетворення використаної енергії, тоді необхідно обирати найбільш раціональний.

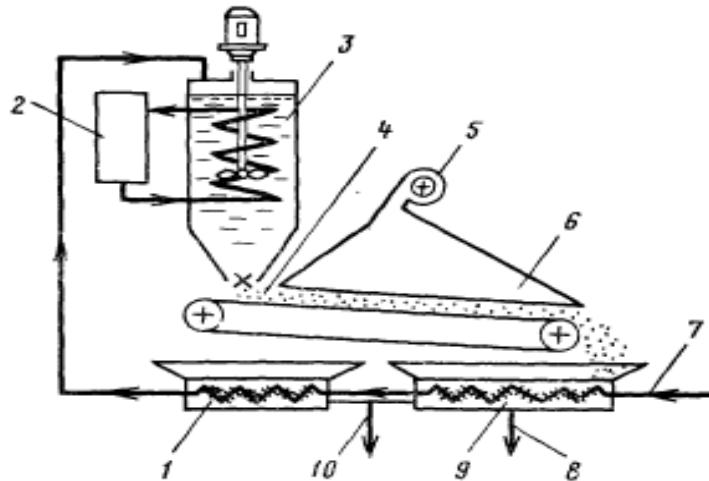
Термокомпресійні опріснювальні установки можуть використовувати для приводу компресору як електричну, так і енергію двигунів внутрішнього спалювання. Причому найбільш ефективніше використовувати схеми опріснення, де двигун внутрішнього спалювання використовується як і джерело теплової енергії так і джерело механічної енергії [6].

Кристалізаційний метод опріснення води – це метод, який засновано на здатності її розділятися при замерзанні на кристали чистої води та концентрований розсіл. Відомо, що чиста вода замерзає при температурі 0°C , тоді як солоні замерзає при температурі -2°C . Завдяки цьому, якщо заморозувати солону воду, то спочатку буде кристалізуватися прісна вода, а концентрація розсолу буде різко підвищуватися. Навколо кожного кристалу буде утворюватися силове поле, яке буде утримувати плівку розсолу на поверхні кожного кристалу. При змерзанні кристалів буде утворюватися льодяна маса,

яка буде складатися з кристалів прісного льоду з міжкристалічними включеннями концентрованого розсолу. Процес танення буде протікати у зворотному напрямку. Спочатку буде витікати солоний розсіл, який має температуру плавлення приблизно мінус 2 °С, а потім при температурі 0 °С будуть плавитися чисті кристали прісної води.

Основними перевагами методу опріснення з використанням природного холоду є: проста конструкція установки, непотрібність у кваліфікованому персоналі, відносно недорогі матеріали конструкції установки. В таких установках використовується від'ємна температура навколишнього середовища, та в них не використовується штучні енергетичні системи.

На рисунку 1.6 показано схему установки зі штучним виморожуванням.



- 1 – теплообмінник; 2 – льодогенератор; 3 – холодильна машина;
4 – транспортер; 5 – вентилятор; 6 – камера танення льоду; 7, 8 – вихідна та прісна вода; 9 – теплообмінник 1-го ступеня; 10 – відвід розсолу.

Рисунок 1.6 – Схема опріснювальної установки штучним виморожуванням системі Керврана

Але окрім переваг природне заморожування ще має цілий ряд недоліків. Використовуючи розсіяну енергію природного холоду, такий опріснювач буде мати дуже низьку питому продуктивність, і для отримання значної потужності потрібні більші капітальні витрати. Крім того, через сезонні зміни погодних умов потрібні великі витрати для будування акумулюючих ємностей, які

повинні забезпечувати роботу весь рік. І найголовнішим недоліком є те, що процесом природного заморожування не можливо керувати.

Теплота льодоутворення складає приблизно 80 ккал/кг, а теплота пароутворення – 539 ккал/кг і тому процес замороження більш вигідніший.

Принцип роботи такої установки полягає у наступному. Вода, що опріснюється проходить крізь теплообмінник, де охолоджується льодом, що тане та розсоллом, що утворюється при таненні льоду. Потім вода надходить у льодогенератор, який отримує холодоносії від холодильної установки. В льодогенераторі при безперервному перемішуванні утворюються кристали льоду з температурою приблизно мінус 6 °С. Вода з льодом надходить з розвантажувального люку льодогенератора на транспортер, на початку якого вода стікає бак теплообмінника. Далі лід по транспортеру надходить у першу камеру танення, де він продувається повітрям, що нагнітається центробіжним вентилятором. На цій ділянці відбувається часткове танення льоду за рахунок тепла повітря. Звідси уламки льоду надходять до теплообмінника [6].

Методом опріснення води можна також вважати електродіаліз. Це процес видалення з розчину іонів розчинених речовин шляхом вибіркового їх переносу крізь мембрани, що селективні до цих іонів, в полі постійного електричного струму.

При накладенні електричного поля на розчин іонізованих речовин, тобто електроліт виникає спрямований рух іонів розчинених солей, а також іонів H^+ та OH^- . При цьому катіони рухаються до катода, а аніони до аноду. Якщо розчин розділити на секції за допомогою спеціальних мембран, проникних тільки для катіонів або для аніонів, то катіони, рухаючись до катоду, будуть вільно проходити крізь катіонітну мембрану. Аніони через таку мембрану не будуть проходити, а будуть проходити через аніонітну мембрану, та будуть рухатись у бік аноду. Так розчин повинен буде розділитися на знесолону воду, яка буде знаходитися між мембранами, та на концентровані розсоли, тобто лужний католіт і кислий аноліт.

Іонітні мембрани для процесу електродіалізу мати високу селективність, малу проникну здатність для молекул води, хорошу електричну провідність, хімічною стійкістю та механічною міцністю. Іонітні мембрани розділяють за знаком заряду матриці на катіонітні і аніонітні, а за способом отримання на гетерогенні і гомогенні.

Гетерогенні мембрани – це мембрани, які являють собою дрібнодисперсний іоніт,

Гомогенні мембрани можна отримати в результаті реакцій поліконденсації або методом привитої полімеризації. Вони характеризуються суцільною фазою іоніту по всій плівці.

Основними апаратами, які зараз застосовують є багатокамерні апарати з плоскою рамою. Вони являють собою мембранный пакет, який стиснений між пластинами, які є анодом та катодом відповідно. На рисунку 1.7 показано схему процесу електродіалізу.

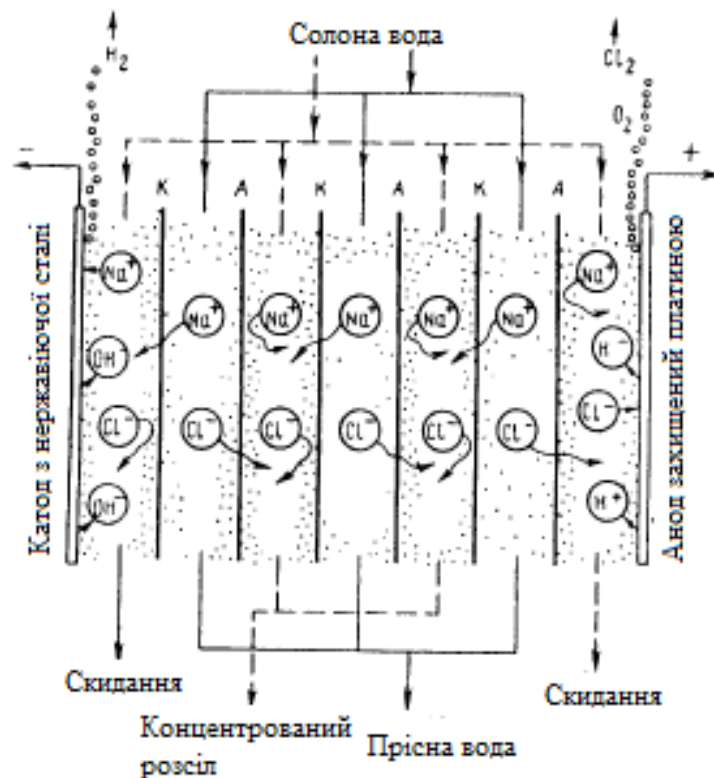


Рисунок 1.7 – Схема багатокамерного електродіалізатора

Мембрани розділені прокладками та турбулізуючими вставками, які потрібні для покращення гідродинаміки руху розчинів в апараті. Вода, що опріснюється надходить у парні камери та паралельними потоками рухається через них. З іншої сторони цих камер відводиться опріснена вода. Через непарні камери циркулює розсіл солей, що виводяться з води. У анода та катода відбувається розрядка аніонів і гідроксил-іонів та катіонів і водневих іонів. Відповідно з утворенням кислого аноліту та лужного католіту.

Стягування мембран у пакети може бути виконано як вручну, так і за допомогою гідравлічного обладнання. Кількість та розміри мембран в пакеті залежать від параметрів апарату. В якості матеріалів для виробництва електродів застосовують графіт, нержавіючу сталь, платинований титан та інше.

Опріснена вода (діллюат) циркулює в апараті до досягнення потрібного рівня знесолення, а потім повністю виводиться з апарату та замінюється новою порцією вихідної води.

Зі зростанням концентрації солей в розсолі та їх зниженням у воді процес очистки погіршується. Це пов'язано зі зростанням опрісненої води, а також з явищем концентраційної поляризації. Це пов'язано з тим, що рух іонів крізь мембрану проходить з великою швидкістю, ніж у розчині, і це призводить до падіння концентрації електроліту близько приймаючою стороною мембрани та підвищенню концентрації сторони, що віддає.

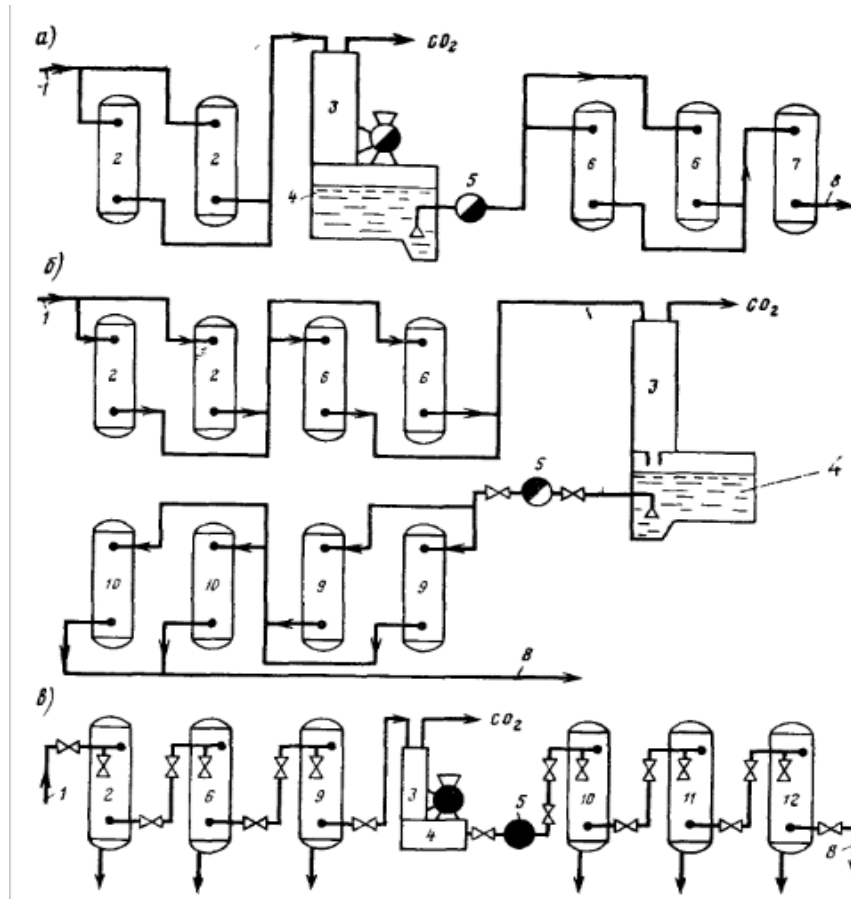
Великий вплив на процес електродіалізу надає наявність у воді солей жорсткості та заліза. Нерозчинні солі кальцію відкладаються на поверхні мембран, що призводить до підвищення опору та падінню продуктивності установки. Залізо, що знаходиться у воді в розчиненому вигляді, накопичується в структурі мембран, що призводить до втрат мембранами електропровідності. Наявність зважених речовин у воді призводить до забивання труб комірок апаратів та зниження продуктивності. Для уникнення цього попередньо проводять обробку води, видаляючи суспензії та колоїди, тим самим пом'якшують воду. Для видалення заліза проводять попередньо

промивку апаратів кислотами. Все це призводить до збільшення вторинних відходів та робить цей процес малоефективним [1].

Останнім часом найбільш розповсюдженим методом очищення води став іонний обмін, тому як цей метод дозволяє очищувати воду до дуже низьких концентрацій розчинених в ній речовин, та дозволяє утилізувати ці речовини.

Іонний обмін проводять за допомогою синтетичних матеріалів – іонообмінних смол. Такі смоли складаються з зшитих органічних речовин, що нерозчинні у воді, та мають вуглецеву матрицю. На цій матриці розташовані іоногенні групи, що мають заряд, який нейтралізується іонами протилежного знаку (противоіонами), які розташовані всередині полімеру. Противоіони вступають у реакцію іонного обміну з іонами, що знаходяться у розчині, та мають такий саме знак. Іоніт, фіксовані групи якого мають негативний знак називається катіонітом, а ті, що мають позитивний знак – аніонітами. Катіоніти обмінюють катіони, а аніоніти аніони.

Іонообмінний метод опріснення та знесолення заснований на послідовній фільтрації води крізь Н-катіонітовий, а потім HCO_3^- , OH^- або CO_3^{2-} аніонітовий фільтр. На рисунку 1.8 показано технологічну схему знесолення води іонним обміном.

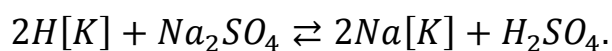
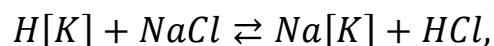
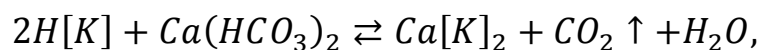


а) – одноступенева; б) – двоступенева; в) – тріступенева;

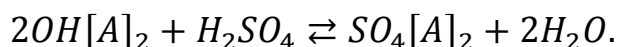
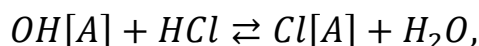
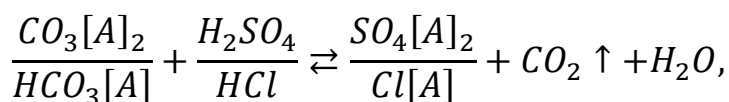
1, 8 – подача вихідної та відвід знесоленої води; 2 – гідроген-катіонітові фільтри; 3 – дегазатор; 4 – проміжний резервуар; 5 – насос; 6 – аніонітові фільтри; 7 – буферний натрій-катіонітовий фільтр; 9 – гідроген-катіонітові фільтри II ступеня; 10 – аніонітові фільтри II ступеня (з сильноосновним аніоном); 11 – водень-катіонітові фільтри III ступеня; 12 – аніонітові фільтри III ступеня.

Рисунок 1.8 – Технологічна схема іонного обміну

В Н-катіонітному фільтрі катіони, що містяться у воді, особливо Ca(II) , Mg(II) та Na(I) , обмінюються на водень-катіони:



При пропусканні води після Н-катіонування фільтрів через ОН-аніонітні фільтри аніони кислот, що утворилися обмінюються на іони OH^- :



Вуглекислий газ, що утворюється в процесі розкладання гідрокарбонатів (при проходженні води крізь Н-катіонітові фільтри) видаляється в дегазаторі або розбрискуванням води в градирні.

В установках іонного обміну процес знесолення води проходить завдяки постійній циркуляції смоли у фільтрі та її безперервна регенерація виносна регенерація. Розділення. Промивання та регенерація смоли здійснюється в окремих колонах установки. Кожне іонообмінне зерно постійно покрите новими порціями рідини та інтенсивно приймає участь у обміні.

В робочій зоні смола обмінює іони води. В той час як чиста вода виходить з робочої колони зверху, заряджена смола транспортується в регенераційну колону. Там вона тече вниз в напрямленні, що протилежне потоку регенераційного розчину, звідки через промивну колону попадає в робочій фільтр. Безперервна послідовність цих операцій утворює замкнутий контур без перемикання та ручного керування.

Однією з переваг іонного обміну є те, що цей процес оборотний, тобто проведення реакцій можна проводити у зворотному напрямку. Це говорить про те, що іоніт після відпрацювання можливо регенерувати, тобто обробити його розчином, що має найбільш легкі іони. Для катіоніту це іони H^+ або Na^+ та OH^- або Cl^- для аніоніту. Тобто катіоніт потрібно обробити кислотою або кислою сіллю, а аніоніт потрібно обробити лугом або лужною сіллю [1, 6].

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ІОННИМ ОБМІНОМ

Іоніти – це речовини, що здатні до обміну своїх іонів у еквівалентних кількостях на іони різних речовин, що знаходяться у розчині. Іоніти в залежності від знаку заряду поділяють на аніоніти, катіоніти та амфоліти. Аніоніти обмінюють свої аніони з аніонами розчину, а катіоніти обмінюють катіони. Амфоліти можуть обмінювати як катіони так і аніони. Реакції іонного обміну протікають тільки через те, що іони в іоніті знаходяться у дисоційованному стані.

Іони, що можуть вступати у реакцію іонного обміну називають протвоіонами. Заряд протвоіонів компенсується протилежно зарядженими іонами, які зв'язані хімічно з матрицею або як ще її називають каркасом іоніту.

Зазвичай класифікувати іоніти можуть за різними ознаками. За ступенем дисоціації іоніти поділяють на слабоелектролітні та сильноелектролітні. Слабоелектролітні іоніти дисоціюють слабо, а сильноелектролітні майже повністю. Є також проміжні іоніти між сильно- та слабоелектролітними які називаються середноелектролітними.

Іоніти можуть бути як природними (піски, мінерали, глини) так і синтетичними (синтетичні смоли). Синтетичні смоли зазвичай отримують двома способами: полімеризацією та поліконденсацією.

Іоніти зазвичай можуть мати ізопористу, гелеву або макропористу структуру. В ізопористій та гелевій формах реальні пори відсутні. Такі іоніти гомофазні, тому в них неможливо виділити фазу іоніту і фазу розчину. Але щільність заряду розподілена нерівномірно, для фіксованих іонів в цих іонітах. Гелеві іоніти характеризуються безпервною та нерегулярною зміною щільності заряду фіксованих іонів в масі зерна іоніта. В кожному зерні іоніта, умовно можна виділити велику кількість гелевих ділянок, в яких розташовані фіксовані іони іоніта, та міжгелеві ділянки, в яких немає фіксованих іонів. Гелеві та ізопористі іоніти відрізняються різним розподілом щільності

фіксованого заряду в гелевих ділянках. В ізопористих вони розташовані рівномірно, а в гелевих нерівномірно. Ще вони відрізняються тим, що частка міжгелевого простору в ізопористих іонітах приблизно вдвічі більша, ніж в гелевих.

Рівномірний розподіл щільності заряду фіксованих іонів та більша частка міжгелевого простору пояснюється стійкістю ізопористих іонітів до отруєння органічними речовинами.

Макропористі іонообмінні смоли в своїй структурі містять реальні пори, які заповнені повітрям коли іоніт знаходиться у сухому стані. Якщо прикласти деякий тиск на іоніт, то ці пори можна заповнити ртуттю і таким чином виміряти частку цих пор та їх розподіл за розміром.

Існують наступні види іонітів:

1. Сильнокислотні катіоніти, які містять сульфогрупи – SO_3H або фосфорнокислі групи – $\text{PO}(\text{OH})_2$, та сильноосновні аніоніти, які мають групи четвертинного амонієві основи – $\text{N}^+(\text{R})_3$. До вітчизняних іонітів такого типу відносяться катіоніт КУ-2 та аніоніт АВ-17.

У таких іонітів статична обмінна ємність по відношенню до різних іонів залишається постійною у широкому інтервалі рН.

2. Слабокислотні катіоніти, які містять карбоксильні – COOH та фенольні групи, що дисоціюються при $\text{pH} > 7$, а також слабоосновні аніоніти, які містять первинні – NH_2 та вторинні – NH – аміногрупи, що дисоціюються при $\text{pH} < 7$.

3. Іоніти змішаного типу, що проявляють властивості суміші сильної та слабкої кислот або основ. Наприклад катіоніт КУ-1 містить сульфогрупу та фенольну групу.

4. Іоніти, обмінна ємність яких поступово змінюється в широкому інтервалі рН. Вони поведуться як суміш основ або кислот різної сили.

При взаємодії іоніту з водою відбувається його набухання. Зазвичай зразки іонітів, які використовують збільшують свій об'єм у 1.5-2 рази.

Однією з основних характеристик є обмінна ємність. Це величина, яка визначає число іоногенних груп. Повна ємність іоніту – кількість грам-еквівалентів іонів, що знаходяться у воді, яке може поглинути 1 м³ іоніту до повного насичення. Робоча ємність іоніту – це кількість грам-еквівалентів іонів, яке може поглинути 1 м³ іоніту у фільтрі при обробці води до початку проскоку у фільтрат іонів, що поглинаються. Крім того при визначенні обмінної ємності іоніт розрізняють статичну обмінну ємність – це обмінна ємність, що визначена у статичних умовах, та динамічну – яка визначається в динамічних умовах.

Особливо важливою особливістю іонітів, характерною для практичного використання, є їх оборотність. Це говорить про те, що можливо проводити реакції у зворотному напрямку, тобто відпрацьований іоніт можливо регенерувати.

Відповідно до граничного дифузійного шару процес іонного обміну можна розглядати у вигляді декількох послідовних стадій: дифузія іонів з розчину через пограничну плівку рідини до поверхні іоніту, дифузія іонів всередину зерна іоніту, хімічна реакція іонного обміну, дифузія виштовхнутих противоіонів з об'єму зерна до його поверхні та дифузія противоіонів від поверхні іоніту в розчин.

При концентрації іонів у розчині меншої 0,003 М лімітуючою стадією процесу іонного обміну є дифузією іонів рідинну плівку (плівкова кінетика), при концентрації більше за 0,1 М лімітуючою стадією буде дифузія іонів всередині зерна (гелева кінетика), а при концентраціях від 0,003 до 0,1 М має значення плівкова та гелева кінетика.

При розгляданні кінетики процесу іонного обміну необхідно враховувати такі фактори, як ступінь вичерпування обмінної ємності, особливості структури, температуру та інше.

Найрозповсюдженим полімеризаційним гранульованим катіонітом є сильноосновний катіоніт КУ-2-8. Це гелевий катіоніт, який має один вид

фіксованих іонів – сульфогрупу. Цей катіоніт зазвичай має вигляд сферичного зерна від жовтого до коричневого кольору.

Катіоніт КУ-2 отримують сульфтуванням гранульованого кополімеру стиролу та дивінілбензолу. В технічному дивінілбензолі міститься приблизно до 50 % м-, п-ізомерів етилстиролу, 7 % диетилбензолу та 3 % нафталіну. Через це катіоніт буде мати не тільки ланки стиролу та дивінілбензолу, а ще і етилстиролу.

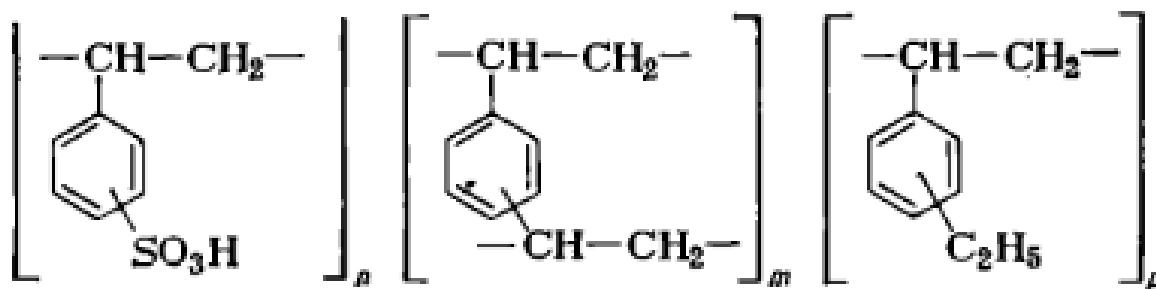


Рисунок 2.1 – Ланки катіоніту КУ-2

При кополімеризації дивінілбензолу та стиролу утворюються молекули у вигляді спіралей з періодом ідентичності 0,67 нм та трьома ланками на виток. Елементарним утворення є сульфогрупа, яка приєднана до бензольного кільця. Відстань між такими сульфогрупами складає також 0,67 нм. Завдяки невеликому розміру крос-агенту проходить зшивання спіралей полімеру, що розташовані під різними просторовими кутами, а не паралельних спіралей. При цьому вигляд самої спіралі у місцях, де вона зшивається змінюється (рисунок 2.2). Завдяки цьому в іоніті утворюються порожнини. Внутрішня сторона цих порожнин гідрофобна, а зовнішня сторона гідрофільна. У зневодненому катіоніті водневí зв'язки зазвичай зв'язують сульфогрупи тільки сусідніх ланок. Найбільш ймовірним є приєднання сульфогрупи в м- і п- положенні, тому як о-положення є не вигідним. При набуханні іоніту його молекулярна структура всередині майже не змінюється. Його об'єм збільшується за рахунок розпрямлення та розсування полімерних ланок.

Обмінна ємність катіоніту КУ-2 та інших іонітів змінюється в залежності від рН розчину (в мг·екв/г). В таблиці 2.1 наведено обмінну ємність іонітів в залежності від рН середовища.

Таблиця 2.1 – Обмінна ємність іонітів в залежності від рН.

Іоніт	рН = 3	рН = 5	рН = 7	рН = 13
КУ-2	4,70	4,75	4,75	5,02
АВ-17	4,30	3,70	3,30	–
КУ-1	1,90	2,25	2,28	5,61
КБ-4	0,16	1,8	4,30	8,55

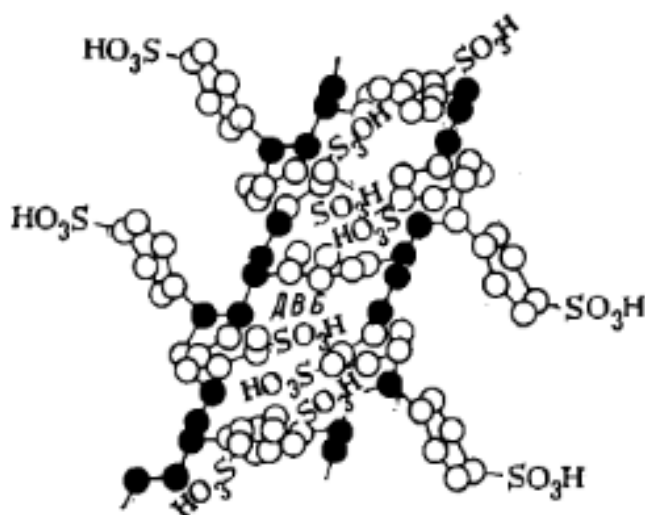


Рисунок 2.2 – Схема зшивання паралельних ланок полістиролу та дивінілбензолу (● – атоми вуглецю у аліфатичному ланцюгу, ○ – атоми вуглецю у бензольному кільці).

Слабка залежність ємності від рН рівноважного розчину свідчить про високу ступінь монофункціональності такого іоніту. Невелике збільшення ємності при високому рівні рН можливо викликане дисоціацією фенольних груп, які можуть викликати окисні процеси, які супроводжують синтез КУ-2.

В деяких джерелах сказано, що щільність набряклого іоніту завжди більша за одиницю та менша щільності сухого іоніту. По мірі збільшення

еквівалентної маси противоіону щільність іоніту збільшується. Зміна розміру гранул іоніту майже не впливає на його ємність, а щільність сухих та набряклих гетероіонних форм катіоніту КУ-2 лінійно залежить від його складу.

Водночас зі зменшенням ємності при збільшенні зшивання зростає жорсткість матриці іоніту. Це призводить до зменшення його набухання. Набухання іоніту також зменшується при збільшенні іонного радіусу лужних лужноземельних металів, так як при цьому зменшується радіус гідратованих іонів. Взаємодія іонів таких металів з водою в катіоніті КУ-2 носить електростатичний характер. Катіони металів, що мають заповнені зовнішніми електронами d-орбіталі здатні утворювати з водою комплекси внаслідок контактної взаємодії електронів d-орбіталей іонів та неподілених пар електронів молекул води. Числа гідратації іонів лужних металів в катіоніті КУ-2 зазвичай не перевищує трьох. В таблиці 2.2 наведено константи обміну на іони водню.

Таблиця 2.2 – Константи обміну на іони водню катіонітів

Іон	Іонний радіус, нм	КУ-2-2	КУ-2-4	КУ-2-12	КУ-2-16	КУ-2-20	КУ-2
Li ⁺	0,078	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Na ⁺	0,098	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
K ⁺	0,133	1,6	1,7	2,2	2,2	3,3	2,0
Rb ⁺	0,140	2,1	2,1	3,0	3,4	4,3	2,3
Cs ⁺	0,165	2,5	2,9	3,9	4,5	6,5	3,2
Mg ²⁺	0,078	2,1	1,8	1,4	1,0	—	—
Ca ²⁺	0,106	3,2	2,0	2,4	2,0	—	—
Sr ²⁺	0,127	6,3	3,9	6,0	6,1	—	6,1
Ba ²⁺	0,148	8,2	6,4	10,8	10,5	—	10,5

Повна гідратна оболонка цих іонів не утворюється і одне координаційне місце займає фіксований іон.

За даними з таблиці 2.2 селективність катіоніту КУ-2 по відношенню до металів однієї групи збільшується зі зменшенням радіусу гідратованого іону. При однаковому радіусі іонів селективність буде тим вища, чим більшим буде заряд іону. Це підтверджує електростатичний характер взаємодії іонів лужноземельних та лужних металів з фіксованими групами іоніту. На електростатичний характер вказаної взаємодії вказує також лінійна залежність логарифму коефіцієнту розподілення іонів лужних металів від оборотної величина відстані найбільшого зближення фіксованого іону та противоіону.

Найбільш суттєво впливає на кінетичні властивості катіоніту заряд противоіону: однозарядні більш рухливі, ніж двозарядні, які більш рухливі ніж трьохзарядні. При рівних умовах за мірою збільшення радіусу гідратованих катіонів еквівалентна електропровідність (λ) відповідних іонних форм катіоніту падає. Аналогічно впливає зростання константи обміну, що характеризує силу взаємодії фіксованих іонів та противоіонів.

Зі збільшенням вмісту дивінілбензолу в катіоніті, буде збільшуватися стеричні перешкоди при русі противоіонів. Тому рухливість противоіонів зменшується при збільшенні зшивання іоніту. Якщо рухливість іону виразити через питому електропровідність x , то відношення Нернста-Енштейна можна записати у вигляді:

$$D = \frac{RTx}{zF^2E},$$

де R – газова постійна;

T – абсолютна температура;

t – число переносу противоіону в іоніті;

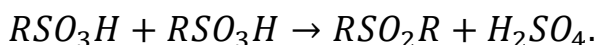
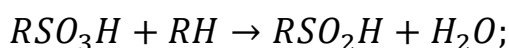
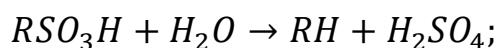
z – заряд іону;

E – число фарадея;

При зменшенні температури та вологості зменшуються такі коефіцієнти: коефіцієнт температуропровідності, питома теплоємність та коефіцієнт теплопровідності.

За даними досліджень з літературних джерел катіоніт КУ-2 відноситься до хімічно стійких іонообмінних смол. При його обробці такими розчинами, як NaOH з концентрацією 5 Н, H₂SO₄ з концентрацією 5 Н, HNO₃ з концентрацією 1 Н та 10 % розчином перекису водню його обмінна ємність знизилась майже на 3 %. Також його ємність практично не змінюється при обробці його розчинами електrolітів.

Катіоніти такого типу є також термостійкими. При нагріванні катіоніту можуть проходити реакції термічного гідролізу та реакцій утворення сульфонів, які додатково зшивають ланцюги полімеру:



Причому останні 2 реакції будуть перебігати при температурі, що вища за 150 °С. Така реакція як перша буде перебігати при помірному нагрівання такого типу катіонітів в Н-формі, але швидкість цієї реакції дуже маленька, але при підвищенні температури та числа зшивок швидкість реакції буде зростати. Іони водню у цьому випадку будуть працювати як каталізатори. Катіоніт у сольовій більш стійкий до нагрівання ніж в Н формі. Він може витримувати короткочасне нагрівання при кип'ятінні води. При підвищенні до 80 °С у присутності окисників (KBrO₃, HNO₃, K₂Cr₂O₇ та інші) призводить суттєвої зміни фізико-хімічних характеристик іонообмінних смол.

При взаємодії іонізуючого випромінювання з іонітом будуть перебігати такі самі реакції, що і при термічній взаємодії. Процес деструкції іоніту при присутності кисню буде стрімко прискорюватись. При процесі опромінення іоніту кисень, що розчинений у воді буде прискорювати розривання ланцюгів сульфованого полістиролу та поперечних зв'язків дивінілбензолу. Також було зазначено, що в продуктах деструкції іоніту будуть присутні такі продукти як

сірчана кислота та різні органічні сульфокислоти. При збільшенні вмісту дивінілбензолу іоніт буде мати більшу радіаційну стійкість.

Полімеризаційні сильноосновні аніоніти отримують хлорметилюванням сополімеру стиролу з дивінілбензолом та подальшим амінуванням з використанням триметиламіну. Такі аніоніти зазвичай мають вигляд сферичного зерна світло-жовтого кольору. Він має гелеву структуру та містить основи четвертинного амонію. На рисунку 2.3 представлено будову аніоніту.

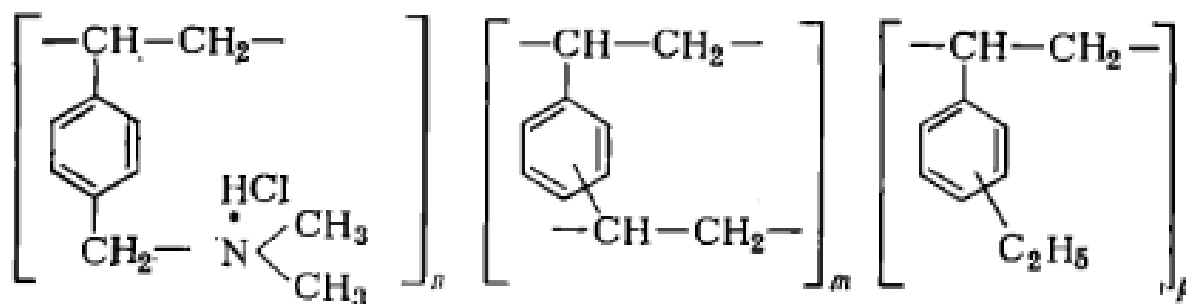


Рисунок 2.3 – Будова сильноосновного аніоніту

Термічна стійкість при нагріванні у воді сильноосновних аніонітів дуже висока. За період протягом 10 діб нагрітий до 100 °С аніоніт в ОН-формі втрачає приблизно 35% від повної обмінної ємності за сильноосновними групами. Солеві форми будуть більш стійкими до нагрівання ніж в гідроксильній формі. При видаленні кремнію з води рекомендують використовувати аніоніти за температури не більшої за 45 °С. При поглинанні аніонів мінеральних кислот можна підвищувати температуру до 90 °С.

При кімнатній температурі сильноосновні аніоніти характеризуються високою хімічною стійкістю до дії різних окисників, лугів та кислот. В таблиці 2.3 на прикладі аніоніту АВ-17 показано вплив різноманітних окисників на сильноосновний аніоніт.

Таблиця 2.3 – Вплив окисників на аніоніт АВ-17

Окисник	Повна обмінна ємність, % від вихідної	Механізм реакції деструкції, %		
		деградація	інактивація	дезамінування
1 М HNO_3				
при 20 °C	98	–		100
при 80 °C	92	–		100
0,1 М KBrO_3 при 20 °C	94	50		50
	81	14	–	86
0,1 М KBrO_3 +1 М HNO_3 при 20 °C	88	23	36	41
0,1 М H_2O_2	90	31	50	19
при 20 °C	90	–	4	96
при 80 °C	77	11	54	35
0,1 М H_2O_2 + 1 М HNO_3 при 20 °C				
0,1 М $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ при 20 °C				

Радіаційна стійкість сильноосновних аніонітів невелика. При опроміненні будуть утворюватися первинні та вторинні аміногрупи. Гранули аніоніту будуть розтріскуватися та подрібнюватися. Внаслідок всього цього маса зразка буде зменшуватися. Іонна форма не буде особливо впливати на стійкість іоніту до іонізуючого випромінення. Для підвищення стійкості аніоніту зазвичай підвищують вміст дивінілбензолу в кополімері.

При процесі поглинання великих органічних молекул аніоніт буде втрачати робочу обмінну ємність. Внаслідок цього буде збільшуватися витрата луку на його регенерацію.

Сильнокислотні катіоніти, що виробляють поліконденсацією отримують в результаті конденсації сульфованого фенолу з формальдегідом. На рисунку 2.4 показано передбачену будову катіоніту.

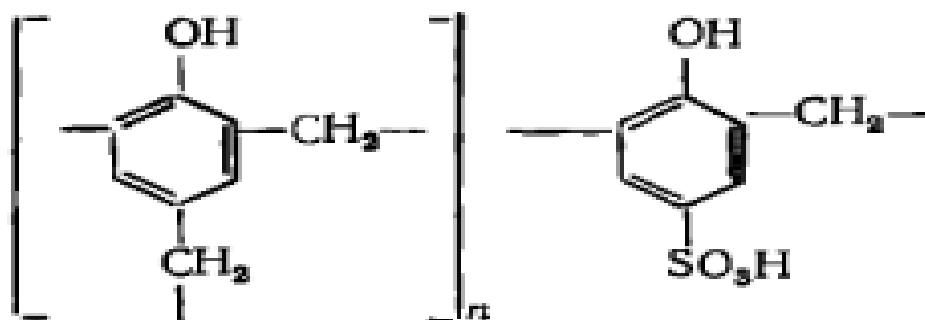


Рисунок 2.4 – Будова поліконденсаційного сильнокислотного катіоніту

За зовнішнім виглядом такий катіоніт зазвичай у формі зерен неправильної форми чорного або темно-коричневого кольору. Катіоніт має дві іоногенні групи: фенольні гідроксили – OH та сульфогрупи – SO_3H .

В розчинах з високою концентрацією лугів водневі зв'язки, що з'єднують фенольні гідроксили руйнуються. В результаті чого ємність катіоніту значно збільшується зі збільшенням рівня pH. Катіоніт має відносно невелику хімічну стійкість, і тому він руйнується при дії на нього концентрованих розчинів окисників та лугів. В органічних та кислих розчинах катіоніт не руйнується. А при взаємодії температури вищої за $80\text{ }^\circ\text{C}$ обмінна ємність буде знижуватися.

Сильноосновні поліконденсаційні аніоніти отримують кополіконденсацією епіхлоргідрином з піридином та поліетиленполіамінами в присутності хлориду амонію. На рисунку 2.5 представлено будову елементарного ланки іоніту.

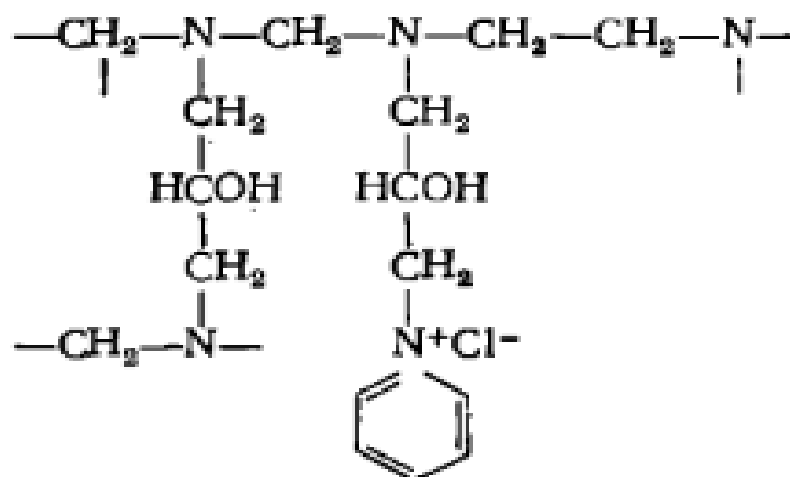


Рисунок 2.5 – Будова ланки сильноосновного поліконденсаційного аніоніту

Такий аніоніт містить аміногруппи вторинного та третинного аліфатичного ряду та піридинові основи. Такий аніоніт стійкий до дії концентрованих кислот та лугів, але нестійкий до дії окисників. Наприклад такий аніоніт як АВ-16ГС може утворювати комплексні сполуки з іонами заліза, міді та важких металів. Завдяки цьому його можна використовувати для поглинання органічних речовин та очищення стічних вод.

Слабоосновні аніоніти отримують в результаті поліконденсації формальдегіду, фенолу та поліетиленполіамінів в солянокислому середовищі.

Зазвичай за зовнішнім виглядом аніоніт має форму неправильного зерна коричневого або красно-коричневого кольору. Такий аніоніт містить вторинні та третинні аміногруппи аліфатичного ряду, в також деяку кількість фенольних груп. На рисунку 2.6 показано будову ланки аніоніту.

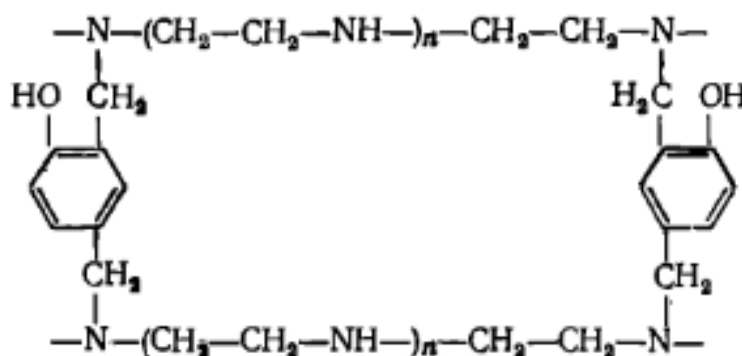


Рисунок 2.6 – Ймовірна будова слабоосновного поліконденсаційного аніоніту

При рН 8 такий аніоніт буде мати мінімальну набряклість, та буде збільшуватися при збільшенні рН, а при зменшенні вона буде також зменшуватися.

Слабоосновні аніоніти стійкі до концентрованих розчинів лугів та кислот, а також до органічних розчинників. Але він буде нестійким до перекису водню [2, 4].

З ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Підготовка іоніту

Для дослідження здатності очищення води від нітратів методом іонного обміну було обрано два зразки сильноосновних аніонітів. Це іонообмінні смоли HYDROLITE ZGA 304 та HYDROLITE ZGD 890.

HYDROLITE ZGA 304 – це сильноосновний гелевий аніоніт, що має високу обмінну ємність. Зазвичай його використовують для демінералізації води, для обробки конденсату, для обробки конденсатів і т.д. Він має високу швидкість іонного обміну та забезпечує високу ступінь знесолення. Цей аніоніт є аналогом смол AB-17-8, PUROLITE A400, DOW SBR-P, ROHM AND HAAS IRA 402/420, LEWATIT M504/510.

HYDROLITE ZGD 890 – це сильноосновний аніоніт макропористого типу, який розроблено спеціально для видалення нітратів з води у харчовій промисловості. Завдяки своїй макропористій структурі, та своїм унікальним властивостям має високу селективність по нітратам. Завдяки цьому цей аніоніт можна використовувати для видалення нітратів у воді, що має високу концентрацію сульфатів. Внаслідок високої селективності обмінна ємність його буде нижчою у порівнянні з іншими аніонітами, але за рахунок цього не буде різкого проскоку нітратів, який може спостерігатися в інших аніонітах.

Характеристика цих смол, яку вказана на сайті виробника, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика іонообмінних смол HYDROLITE

Аніоніт	ZGA 304	ZGD 890
Класифікація	Сильноосновний аніоніт	Сильноосновний аніоніт
Тип	Гель	Макропористий
Матрична структура	Стирол-дивінілбензол	Стирол-дивінілбензол

Продовження таблиці 3.1

Функціональна група	$N(CH_3)_3 \cdot OH$	$N(CH_3)_3 \cdot OH$
Зовнішній вигляд	Біле прозоре сферичне зерно	Біло-молочне непрозоре сферичне зерно
Іона форма	Cl^-	Cl^-
Вміст вологи, %	42-48	50-60
Обмінна ємність, ммоль/мл	$\geq 1,10$	$\geq 2,90$
Розмір часток (0,315мм-1,25мм), %	≥ 95	≥ 95
Насипна маса, г/см ³	0,66-0,71	0,66-0,72
Густина істинна, г/см ³	1,06-1,10	$\geq 1,10$

Підготовку аніоніту до дослідів проводили за ГОСТом 10896-78. Вона полягає у наступному. Спочатку наважку іоніту замочували у 20% розчині хлориду натрію протягом 5 годин для того щоб підвергнути аніоніт до набухання. Після закінчення процесу набухання відділяють аніоніт від розчину та промивають його дистильованою водою.

Після промивання іоніт завантажують в колонку та знову промивають дистильованою водою. Це потрібно для того, щоб вимити з колонки дрібні частинки та відмити іоніт від механічних забруднень. Після того, як іоніт осяде в колонці зливають надлишок води з неї таким чином, щоб над рівнем іоніту залишався шар води товщиною 10-20 мм.

Аніоніт, що знаходиться в Cl^- формі спочатку обробляють 5% розчином хлоридної кислоти у співвідношенні 5 об'ємів кислоти на 1 об'єм аніоніту. Після цього аніоніт відмивають від кислоти дистильованою водою.

Потім пропускають крізь аніоніт 5% розчин гідроксиду натрію для переведення аніоніту з Cl^- в OH^- форму. Розчин гідроксиду натрію пропускають крізь аніоніт до вирівнювання концентрації іонів хлору у вихідному розчині луку та фільтраті.

Для визначення концентрації іонів хлору у фільтраті відбирають 1 мл досліджуваного розчину, додають по краплям нітратну кислоту з концентрацією 2 моль/л до утворення кислого середовища та додають декілька крапель 0,1 н розчину нітрату срібла. Концентрація іонів хлору у вихідному розчині та фільтраті вважають рівною тоді, якщо через 20 хвилин не буде опалесценція фільтрату інтенсивніша ніж у вихідного розчину.

Після насичення аніоніту, його відмивають від луку дистильованою водою до відсутності реакції по фенолфталеїну. Відмивання припиняють тоді, коли на титрування 100 мл фільтрату буде витрачатися 3-4 краплі 0,1 розчину хлоридної кислоти.

Підготовлений аніоніт з колонки переносять у ємність, щільно її закривають, та зберігають аніоніт під шаром води до проведення дослідів [16].

3.2 Методика визначення статичної та динамічної ємності

Перед визначенням статичної та динамічної ємності визначаємо вміст вологи в іоніті за ГОСТом 10898.1-84. Для цього спочатку підготовлюють пусту бюксу просушивши її до постійної маси при температурі 100 ± 5 °C. Потім беруть наважку іоніту $3,5 \pm 0,5$ г з точністю до четвертого десятинного знаку і висушують у сушильній шафі протягом 6 годин при температурі 100 ± 5 °C для термостійких аніонітів або 80 ± 5 °C для нетермостійких аніонітів. Потім бюкс з аніонітом охолоджують в ексікаторі та зважують. Процес висушування припиняють тоді, коли між двома послідовними зважуваннями різниця в масі буде не більшою за 0,0005 г.

Масову частку вологи в іоніті визначають за формулою:

$$W = \frac{m - m_1}{m_2},$$

де m – маса іоніту з бюксою до висушування, г;

m_1 – маса іоніту з бюксою після зважування, г;

m_2 – наважка іоніту, г.

Визначення статичної обмінної ємності проводять за ГОСТом 20255.1 – 89. Для цього беруть наважку іоніту $2,0 \pm 0,2$ г зважують з точністю до четвертого десятинного знаку. Переносять іоніт в конічну колбу ємністю 250 мл та додають 100 мл робочого розчину (для сильноосновних аніонітів це 0,1 н хлоридна кислота). Закривають колбу та періодично перемішують протягом 2 годин. Після цього відбирають 25 мл розчину на титрування, та титрують 0,1 н розчином гідроксиду натрію.

Повну статичну обмінну ємність в мілімолях на грам розраховують за формулою, ммоль-екв/г:

$$\Pi_m = \frac{(V \cdot K_1 - K \cdot V_1 \cdot K_2) \cdot 100}{m(100 - W)} \cdot c,$$

де K – коефіцієнт, що дорівнює відношенню об'єму вихідного розчину до об'єму взятого на титрування;

m – наважка іоніту, г;

c – концентрація робочого розчину та розчину для титрування, н;

V – об'єм робочого розчину, мл;

V_1 – об'єм розчину, витраченого на титрування, мл;

W – вміст води в іоніті, %;

K_1 і K_2 – коефіцієнти поправки відповідно до вихідного розчину та розчину для титрування.

Повну статичну обмінну ємність в мілімолях на мл визначають за формулою, ммоль-екв/мл:

$$\Pi_v = \frac{(V \cdot K_1 - K \cdot V_1 \cdot K_2) \cdot 100}{m(100 - W) \cdot V_{\Pi}} \cdot c,$$

де V_{Π} – питомий об'єм, мл/г.

Рівноважну статичну обмінну ємність в мілімолях на грам визначають за формулою, ммоль-екв/г:

$$P_m = \frac{K \cdot V_1 \cdot K_2 \cdot 100}{m(100 - W)} \cdot c.$$

Рівноважну статичну обмінну ємність в мілімолях на мл визначають за формулою, ммоль-екв/мл:

$$P_m = \frac{K \cdot V_1 \cdot K_2 \cdot 100}{m(100 - W) \cdot V_{\pi}} \cdot c.$$

Динамічну обмінну ємність визначають за ГОСТом 20255.2-89. Процес полягає у наступному. Відміряють 100 мл іоніту мірним циліндром, щільно заповнюючи його. Потім іоніт переносять в колонку у вигляді водної суспензії в колонку, яка заповнена на 1/5 дистильованою водою. Після осадження іоніту надлишок води зливають залишивши шар води над іонітом 10-20 мм. Заповнюють колонку розчином електроліту на висоту в 100 мм над рівнем іоніту.

Для визначення динамічної обмінної ємності сильноосновних аніонітів в якості розчину електроліту використовують 0,01 н розчин хлориду натрію. Розчин пропускають зверху вниз, та збирають його в циліндр ємністю 1000 мл. Від кожної проби фільтрату відбирають пробу на титрування для контролю насичення(титрування проводять 0,01 н розчином хлоридної кислоти). Після того, як в пробі фільтрату з'являться іони робочого розчину розраховують загальний об'єм фільтрату.

Для визначення повної динамічної обмінної ємності продовжують пропускати розчин до тих пір, коли концентрація іонів у фільтраті вирівнюється з концентрацією іонів робочого розчину [17, 18].

Динамічну обмінну ємність до проскоку в молях на кубічний метр визначають за формулою, г·екв/м³:

$$D = \frac{V_{\phi} \cdot c \cdot 1000}{V_i},$$

де c – концентрація робочого розчину, моль/л;

V_{ϕ} – загальний об'єм фільтрату до проскоку, мл;

V_i – об'єм іоніту, мл.

Повну динамічну обмінну ємність в молях на кубічний метр визначають за формулою, г·екв/м³:

$$D_{\Pi} = \frac{(V_z \cdot c - \sum V_{\Pi} \cdot c_{\Pi}) \cdot 1000}{V_i},$$

де V_{Π} – об'єм порції фільтрату після проскоку, мл;

V_z – загальний об'єм фільтрату пропущеного крізь іоніт, мл;

c_{Π} – концентрації розчину в кожній порції фільтрату після проскоку, моль/л.

3.3 Методика визначення нітратів

Визначення нітратів проводили двома методами. Перший метод визначення за ГОСТом 18826-76 сутність якого полягає у наступному. Спочатку готується стандартний розчин з концентрацією нітратів 100 мг/л. З нього готуємо ряд еталонних розчинів з концентрацією від 0 до 2 мг/л для будування градуувального графіку. 10 мл еталонного розчину переносять у фарфорову чашу, додають до нього 1 мл 0,5% розчину саліциловокислого натрію та випарюють на водяній бані досуха. Знімають чашу з водяної бані і дають їй охолонути. Після охолодження сухий залишок у чаші обробляють 1 мл концентрованої сульфатної кислоти і розтирають цей залишок паличкою та залишають на 10 хвилин. Потім додають 10-15 мл дистильованої води та кількісно переносять у колбу на 50 мл. Додають 7 мл 10 н розчину гідроксиду

натрію та доводять до мітки. Розчин фотометрують при $\lambda = 425$ нм. За отриманими результатами будують градувальний графік. Дані для побудування градувального графіку представлено в таблиці 3.2 [20].

Таблиця 3.2 – Дані для побудування градувального графіку

Концентрація NO_3 , мг/л	Оптична густина розчину А
0	0
0,1	0,110
0,2	0,197
0,4	0,343
0,8	0,719
1,2	1,164

За даними з таблиці 3.2 побудували градувальний графік який представлено на рисунку 3.1.

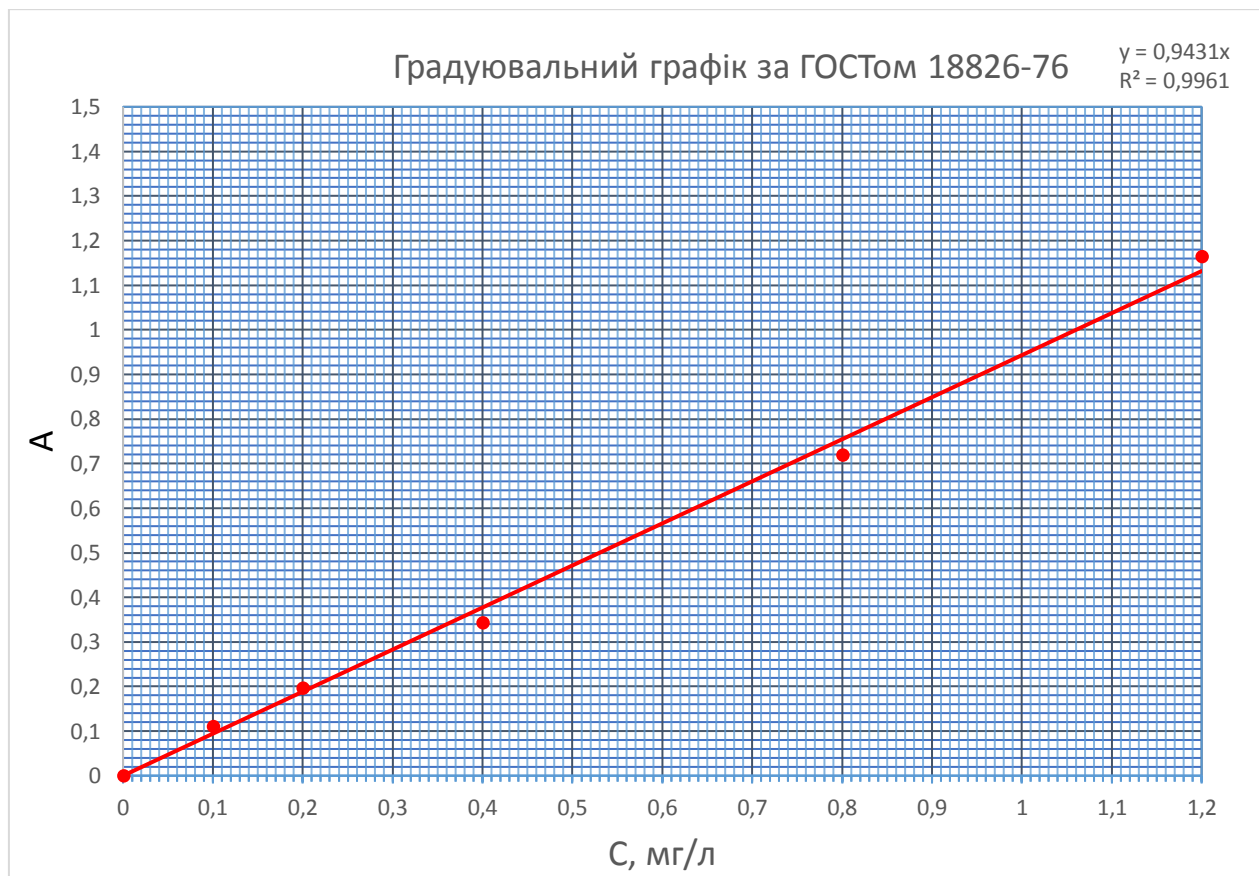


Рисунок 3.1 – Градувальний графік за ГОСТом 18826-76

Концентрацію нітратів у досліджуваному розчині визначаємо за формулою:

$$C_{NO_3} = \frac{c \cdot 50}{V_p},$$

де c – концентрація нітратів, що визначено за градувальним графіком, мг/л;

V_p – об'єм розчину, що взято на аналіз, мл;

50 – об'єм, до якого розбавляється розчин, мл.

Проаналізувавши літературні джерела було встановлено, що нітрати можна визначати ультрафіолетовою спектроскопією. Для визначення нітратів цим методом готуємо ряд еталонних розчинів з концентрацією від 0 до 4 мг/л попередньо додавши по 1 мл 1 н хлоридної кислоти. Фотометруємо розчини при $\lambda = 220$ нм та при $\lambda = 275$ нм. За різницею між значеннями будуємо градувальний графік.

Дані для побудування градувального графіку для методу визначення нітратів ультрафіолетовою спектроскопією представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – дані для побудування градувального графіку визначення нітратів ультрафіолетовою спектроскопією

C_{NO_3} , мг/л	A_1 при 220 нм	A_2 при 275 нм	$A_1 - A_2$
0,2	0,032	-0,014	0,046
0,4	0,080	-0,012	0,092
0,8	0,168	-0,013	0,181
1,4	0,305	-0,012	0,317
2,0	0,461	-0,007	0,468
4,0	0,900	-0,006	0,906

За даними з таблиці 3.3 будували градувальний графік, який представлено на рисунку 3.2.

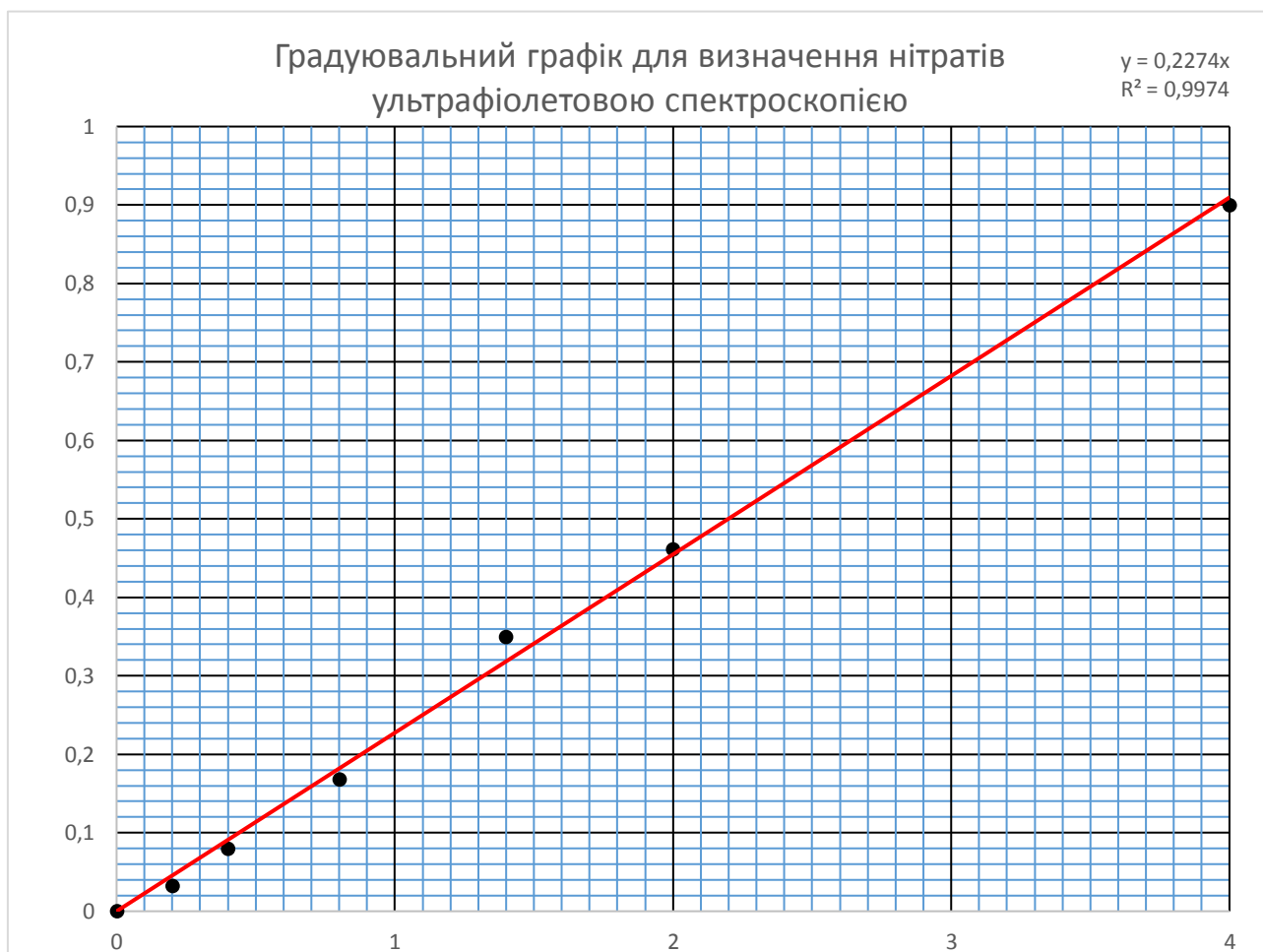


Рисунок 3.2 – Градуювальний графік для визначення концентрації нітратів
ультрафіолетовою спектроскопією

Концентрацію нітратів, що визначено методом ультрафіолетової спектроскопії визначають за формулою:

$$C_{NO_3} = \frac{A}{0,2274} \cdot \frac{V_k}{V_a},$$

де A – оптична густина;

0,2274 – коефіцієнт градувального графіку;

$\frac{V_k}{V_a}$ – кратність розбавлення розчину;

V_k – об'єм мірної колби, 25 або 50 мл;

V_a – об'єм розчину взятий на аналіз, 0,5 мл.

3.4 Методика визначення гідрокарбонатів

Вміст гідрокарбонатів визначали потенціометричним титруванням за ГОСТом 31957-2012. Для цього відбирали 100 мл досліджуваного розчину. Переносили його в стакан та ставили на магнітну мішалку. Під'єднували до розчину електрод рН-метру та повільно титрували 0,1 н розчином хлоридної кислоти. Зміну рівня рН заносили до таблиці та будували криві титрування. Припиняли титрування коли рівень рН становив < 3 . Якщо на кривій титрування фіксували два стрибки, то у розчині були присутні іони гідрокарбонатів ті іони карбонатів [22].

Вміст гідрокарбонатів розраховували за формулою, г:

$$m(\text{HCO}_3^-) = \frac{C(\text{HCl}) \cdot (V_2 - V_1) \cdot M\left(\frac{1}{1} \text{HCO}_3^-\right)}{1000},$$

де V_2 – об'єм хлоридної кислоти, що витрачено від першого до другого стрибка, мл;

V_1 – об'єм хлоридної кислоти, що витрачено до першого стрибка, мл;

$C(\text{HCl})$ – концентрація хлоридної кислоти, н;

$M\left(\frac{1}{1} \text{CO}_3^{2-}\right)$ – молярна маса еквіваленту карбонат іону, г/моль.

Вміст карбонатів розраховували за формулою, г:

$$m(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{C(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot M\left(\frac{1}{1} \text{CO}_3^{2-}\right)}{1000}.$$

3.5 Методика визначення сульфатів

Вміст сульфат іонів визначали за ГОСТом 31940-2012. Для цього відбирали 100 мл досліджуваного розчину (якщо концентрація сульфат іонів більша за 250 мг/л тоді відбирають 50 мл) та переносили його у конічну колбу. Додавали до нього концентровану хлоридну кислоту до значення $\text{pH} \leq 2$

(контролювали індикаторним папером). Додавали до розчину 25 мл хлористого барію. Нагрівали до кипіння та кип'ятили вродовж 10 хвилин. Після цього залишали на одну годину розчин для охолодження до кімнатної температури. Відфільтровували вміст колби та промивали осад гарячою дистильованою водою до відсутності хлорид іонів у фільтраті (вміст яких визначали додаючи декілька крапель у фільтрат розчину нітрату срібла). Фільтр з осадом переносять назад в колбу, в якій проводилось осадження, додають 5 мл розчину аміаку та обережно розгортують скляною паличкою фільтр з осадом. Додають 6 мл розчину трилону Б у перерахунку на кожні 5 мг передбачуваних іонів сульфату. Знову кип'ятять розчин 3-5 хвилин до розчинення осаду, потім охолоджують до кімнатної температури. Додають 50 мл дистильованої води та 5 мл амічного буферного розчину. Додають індикатор еріохром чорний Т та титрують розчином сірчаноокислого магнію до зміни кольору від синього до лілового кольору [21].

Масову концентрацію сульфат іонів розраховують за формулою:

$$X = \frac{(VK - V_1K_1) \cdot 96c}{V_2},$$

де K – коефіцієнт поправки розчину трилону Б;

K_1 – коефіцієнт поправки розчину сірчаноокислого магнію;

V – об'єм трилону Б, що додали до розчину, мл;

V_1 – об'єм сірчаноокислого магнію, що витрачено на титрування, мл;

V_2 – об'єм проби досліджуваного розчину, мл;

96 – молярна маса сульфат іону, мг/ммоль;

c – молярна концентрація розчину трилону Б, ммоль/л

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД НІТРАТІВ

4.1 Експериментальне визначення характеристик досліджуваних смол

Для досліду взяли 70 грам сильноосновного аніоніту ZGA 304 та 100 грам макропористого сильноосновного аніоніту ZGD 890. Підготовку до дослідження проводили за пунктом 3.1. Для переведення аніоніту ZGA 304 в ОН-форму було витрачено 7 літрів 5% розчину гідроксиду натрію. Для переведення в ОН-форму ZGD 890 було витрачено 9 літрів 5% розчину гідроксиду натрію.

Після переведення в ОН-форму визначали вміст води в іонітах. Для цього взяли алюмінієві бюкси, попередньо їх просушили. Відбирали наважку $2,5 \pm 0,5$ грами іоніту та за пунктом 3.2 визначали вміст води. Для ZGA 304 в ОН-формі взяли наважку $m = 2,9618$ г, та $m = 3,2668$ г для іоніту в Cl-формі. Для макропористого аніоніту ZGD 890 в ОН-формі взяли наважку $m = 2,9684$ г, та $m = 2,3807$ г для іоніту в Cl-формі.

Розрахунок вмісту води для ZGA 304 в ОН-формі:

$$W = \frac{m - m_1}{m_2} = \frac{18,4272 - 16,6164}{2,9618} \cdot 100 = 61,14 \, \%.$$

Розрахунок вмісту води для ZGA 304 в Cl-формі:

$$W = \frac{m - m_1}{m_2} = \frac{18,7316 - 17,0548}{3,2668} \cdot 100 = 51,33 \, \%.$$

Розрахунок вмісту води для ZGD 890 в ОН-формі:

$$W = \frac{m - m_1}{m_2} = \frac{16,0962 - 14,0923}{2,9684} \cdot 100 = 67,51 \, \%.$$

Розрахунок вмісту води для ZGD 890 в Cl-формі:

$$W = \frac{m - m_1}{m_2} = \frac{15,4690 - 14,3551}{2,3807} \cdot 100 = 46,79 \, \%.$$

Після цього визначали статичну обмінну ємність за методикою, яка описана в пункті 3.2. Відбирали наважку іонітів, що попередньо були підготовленні $m = 2,1276$ г для ZGA 304 та $m = 2,0646$ г для ZGD 890.

Розрахунок повної статичної обмінної ємності для підготовленого ZGA 304:

$$P_m = \frac{(100 - 4 \cdot 16,5) \cdot 100}{2,1276 \cdot (100 - 61,14)} \cdot 0,1 = 4,01 \text{ ммоль/г},$$

або

$$P_v = \frac{(100 - 4 \cdot 16,5) \cdot 100}{2,1276 \cdot (100 - 61,14) \cdot 0,91} \cdot 0,1 = 4,41 \text{ ммоль/мл}.$$

Розрахунок повної статичної обмінної ємності для підготовленого ZGD 890:

$$P_m = \frac{(100 - 4 \cdot 19,6) \cdot 100}{2,0646 \cdot (100 - 67,51)} \cdot 0,1 = 3,22 \text{ ммоль/г},$$

або

$$P_v = \frac{(100 - 4 \cdot 19,6) \cdot 100}{2,0646 \cdot (100 - 67,51) \cdot 0,91} \cdot 0,1 = 3,54 \text{ ммоль/мл}.$$

Для визначення динамічної обмінної ємності відбирали 10 мл підготовленого аніоніту і переносили його в бюретку на 25 мл. Потім пропускали крізь нього 0,01 н розчин хлориду натрію (0,585 г хлориду натрію розчиняли у 1 літрі води). Перші 25 мл розчину відбрасували. Далі з кожної порції у 25 мл відбирали на титрування 10 мл розчину і титрували його 0,01 н розчином хлоридної кислоти. Результати визначення динамічної обмінної ємності для сильноосновного аніоніту ZGA 304 представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення динамічної обмінної ємності для ZGA 304

№ проби	Об'єм проби, мл	Об'єм HCl, витрачений на титрування, мл	Концентрація NaOH у розчині, н
1	2	3	4
1	25	-	-
2	25	9,1	0,0091
3	25	9,1	0,0091
4	25	9,2	0,0092
5	25	9,2	0,0092
6	25	9,2	0,0092
7	25	8,8	0,0088
8	25	9,2	0,0092
9	25	9,2	0,0092
10	25	9,1	0,0091
11	25	9,2	0,0092
12	25	9,3	0,0093
13	25	9,1	0,0091
14	25	9,2	0,0092
15	25	9,1	0,0091
16	25	9,2	0,0092
17	25	9,1	0,0091
18	25	9,1	0,0091
19	25	9,2	0,0092
20	25	9,1	0,0091
21	25	9,1	0,0091
22	25	9,1	0,0091
23	25	9,2	0,0092
24	25	9,1	0,0091
25	25	9,2	0,0092

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
26	25	9,1	0,0091
27	25	9,2	0,0092
28	25	9,0	0,0090
29	25	9,1	0,0091
30	25	9,0	0,0090
31	25	9,0	0,0090
32	25	8,8	0,0088
33	25	8,7	0,0087
34	25	8,6	0,0086
35	25	8,3	0,0083
36	25	8,0	0,0080
37	25	7,6	0,0076
38	25	7,0	0,0070
39	25	6,5	0,0065
40	25	5,0	0,0050
<u>41</u>	<u>25</u>	<u>3,7</u>	<u>0,0037</u>
42	25	2,1	0,0021
43	25	0,7	0,0007
44	25	0,4	0,0004
45	25	0,2	0,0002
46	25	0,2	0,0002
47	25	0,2	0,0002
48	25	0,2	0,0002
49	25	0,1	0,0001
50	25	0,1	0,0001
51	25	0,1	0,0001
52	25	0,1	0,0001

З проведеного дослідження встановили, що проскок іонів (зміна концентрації на 0,0050 н) відбувся після пропускання крізь аніоніт 1025 мл розчину хлориду натрію.

Розрахунок динамічної обмінної ємності до проскоку:

$$D = \frac{1025 \cdot 0,01 \cdot 1000}{10} = 1025 \text{ моль/м}^3 \text{ або } 1,025 \text{ ммоль/мл.}$$

Розрахунок зміни концентрацій після проскоку:

$$\begin{aligned} \sum V_{\Pi} \cdot c_{\Pi} &= 0,0021 + 25 \cdot 0,0007 + 25 \cdot 0,0004 + (25 \cdot 0,0002) \cdot 4 \\ &+ (25 \cdot 0,0001) \cdot 4 = 0,11. \end{aligned}$$

Розрахунок повної динамічної обмінної ємності:

$$D_{\Pi} = \frac{(1300 \cdot 0,01 - 0,11) \cdot 1000}{10} = 1289 \text{ моль/м}^3 \text{ або } 1,29 \text{ ммоль/мл.}$$

Для визначення динамічної обмінної ємності макропористого аніоніту відібрали 10 мл підготовленої смоли та перенесли в бюретку на 25 мл. Повільно пропускали крізь аніоніт 0,01 н розчин хлориду натрію. Перші 100 мл розчину відкидаємо. Далі з кожних 25 мл розчину відбирали 10 мл на титрування. Титрували 0,01 н розчином хлоридної кислоти. Результат дослідження представлено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Визначення динамічної обмінної ємності для ZGD 890

№ проби	Об'єм проби, мл	Об'єм HCl, витрачений на титрування, мл	Концентрація NaOH у розчині, н
1	2	3	4
1	100	-	-
2	25	9,2	0,0092
3	25	9,0	0,0090

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
4	25	9,2	0,0092
5	25	9,0	0,0090
6	25	9,2	0,0092
7	25	9,2	0,0092
8	25	9,1	0,0091
9	25	9,2	0,0092
10	25	9,2	0,0092
11	50	9,2	0,0092
12	50	9,2	0,0092
13	50	9,0	0,0090
14	25	8,6	0,0086
15	25	8,6	0,0086
16	25	8,6	0,0086
17	25	8,1	0,0081
18	25	7,8	0,0078
19	25	7,5	0,0075
20	25	6,9	0,0069
21	25	5,8	0,0058
22	25	4,9	0,0049
23	25	4,4	0,0044
<u>24</u>	<u>25</u>	<u>3,9</u>	<u>0,0039</u>
25	25	3,6	0,0036
26	25	3,5	0,0035
27	25	2,9	0,0029
28	25	2,7	0,0027
29	25	2,5	0,0025
30	25	1,9	0,0019

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
31	25	1,4	0,0014
32	25	1,2	0,0012
33	25	1,1	0,0011
34	25	0,6	0,0006
35	25	0,4	0,0004
36	25	0,3	0,0003
37	25	0,1	0,0001
38	25	0,1	0,0001
39	25	0,1	0,0001

З проведеного дослідження встановили, що проскок іонів (поява іонів хлору у розчині) відбувся після пропускання крізь аніоніт 475 мл розчину хлориду натрію.

Розрахунок динамічної обмінної ємності до проскоку:

$$D = \frac{750 \cdot 0,01 \cdot 1000}{10} = 750 \text{ моль/м}^3 \text{ або } 0,75 \text{ ммоль/мл.}$$

Розрахунок зміни концентрацій після проскоку:

$$\begin{aligned} \sum V_{\Pi} \cdot c_{\Pi} &= 25 \cdot 0,0036 + 25 \cdot 0,0035 + 25 \cdot 0,0029 + 25 \cdot 0,0025 + 25 \\ &\cdot 0,0019 + 25 \cdot 0,0014 + 25 \cdot 0,0012 + 25 \cdot 0,0011 + 25 \cdot 0,0006 \\ &+ 25 \cdot 0,0004 + 25 \cdot 0,0003 + (25 \cdot 0,0001) \cdot 3 = 0,4925. \end{aligned}$$

Розрахунок повної динамічної обмінної ємності:

$$D_{\Pi} = \frac{(1125 \cdot 0,01 - 0,4925) \cdot 1000}{10} = 1076 \text{ моль/л або } 1,08 \text{ ммоль/мл.}$$

Після визначення характеристик проводимо порівняння з характеристиками, що наведено на сайті виробника. Параметри для порівняння вказано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняння характеристик досліджуваних іонітів

Смола	Визначені експериментально				За даними виробника	
	W, %	П _м , ммоль/г	D, ммоль/мл	D _п , ммоль/ мл	W, %	П _м ммоль/г
ZGA 304 в ОН-формі	61,14	4,01	1,025	1,29	-	≥4,0
ZGD 890 в ОН-формі	67,51	3,22	0,75	1,08	-	≥2,9
ZGA 304 в Cl-формі	51,33	-	-	-	42-48	-
ZGD 890 в Cl-формі	46,79	-	-	-	50-60	-

Як видно з таблиці статична обмінна ємність, що була визначена повністю відповідає статичній обмінній ємності, яка вказана на сайті виробника. Також встановлено, що сильноосновний аніоніт ZGA 304 має більшу як статичну, так і динамічну обмінні ємності у порівнянні з макропористим сильноосновним аніонітом ZGD 890. Визначений вміст вологи наближений до того, що вказано на сайті виробника.

4.2 Дослідження здатності поглинання нітратів

Для досліду відбирали 1 грам іоніту у перерахунку на суху масу і переносили у 500 мл розчину з концентрацією нітрат іонів 100 мг/л. Ставили розчин на магнітну мішалку та через 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240 та 360 хвилин відбирали 0,5 мл для визначення концентрації нітрат іонів у ньому. Визначення концентрації проводили за пунктом 3.3.

Наважку сильноосновного аніоніту ZGA 304 в ОН-формі $m = 2,5733$ г переносили у приготований розчин з нітратами, та ставили його на магнітну мішалку.

Розраховували концентрацію нітратів:

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,307 \cdot 50}{0,5} = 30,7 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,008 \cdot 50}{0,5} = 0,8 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,022 \cdot 50}{0,5} = 2,2 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,038 \cdot 50}{0,5} = 3,8 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{120} = \frac{0,024 \cdot 50}{0,5} = 2,4 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{180} = \frac{0,037 \cdot 50}{0,5} = 3,7 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{240} = \frac{0,029 \cdot 50}{0,5} = 2,9 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{360} = \frac{0,015 \cdot 50}{0,5} = 1,5 \text{ мг/л}.$$

Результат дослідження представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результат визначення кінетики для ZGA 304 в ОН-формі

τ , хв	A	Концентрація NO_3^{2-} , мг/л	% поглинання
15	0,204	21,6	78,4
30	0,024	2,5	97,5
45	0,029	3,0	96,9
60	0,027	2,9	97,1
120	0,015	1,6	98,4
180	0,013	1,4	98,6
240	0,036	3,8	96,2
360	0,014	1,4	98,6

За результатами дослідів побудували графік зміни концентрації з часом та графік відсотку поглинання (рис 4.1).

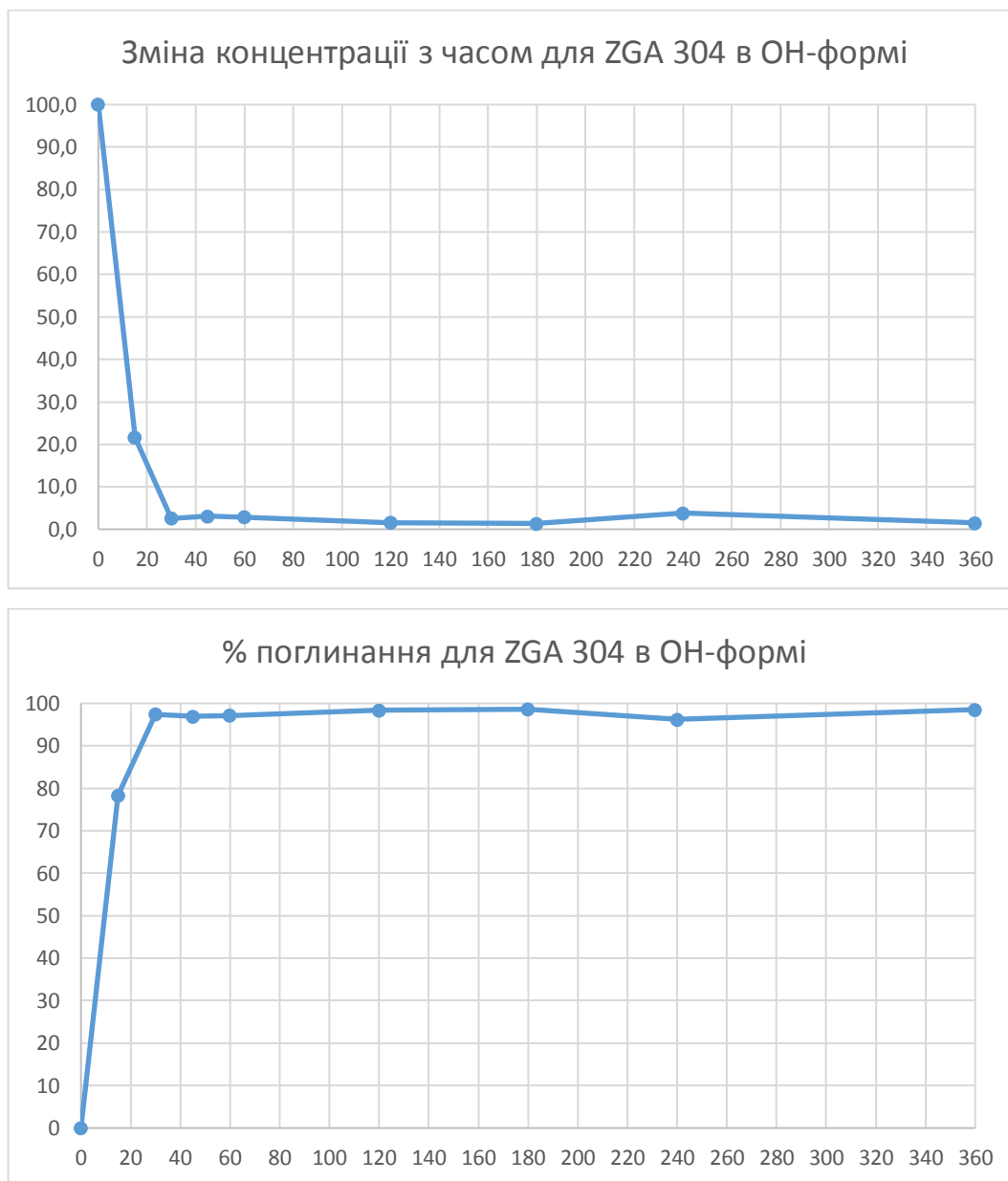


Рисунок 4.1 – Графіки зміни концентрації для ZGA 304 в ОН-формі

Для сильноосновного аніоніту ZGA 304 в Cl-формі взяли наважку $m = 2,0133$ г та перенесли у 500 мл розчину з концентрацією нітратів 100 мг/л. Ставили розчин на магнітну мішалку і через 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 360 хвилин відбирали по 0,5 мл на визначення концентрації нітратів.

Розраховували концентрацію нітратів:

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,297 \cdot 50}{0,5} = 29,7 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,155 \cdot 50}{0,5} = 15,5 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,145 \cdot 50}{0,5} = 14,5 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,115 \cdot 50}{0,5} = 11,5 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{120} = \frac{0,152 \cdot 50}{0,5} = 15,2 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{180} = \frac{0,103 \cdot 50}{0,5} = 10,3 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{240} = \frac{0,151 \cdot 50}{0,5} = 15,1 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{360} = \frac{0,115 \cdot 50}{0,5} = 11,5 \text{ мг/л}.$$

Результат дослідження представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Результат визначення кінетики для ZGA 304 в Cl-формі

τ, хв	A	Концентрація NO ₃ ²⁻ , мг/л	% поглинання
15	0,280	29,7	71,3
30	0,146	15,5	84,5
45	0,137	14,5	85,5
60	0,108	11,5	88,5
120	0,143	15,2	84,8
180	0,097	10,3	89,7
240	0,142	15,1	84,9
360	0,108	11,5	88,5

За результатами дослідів побудували графік зміни концентрації з часом та графік відсотку поглинання (рис 4.2).

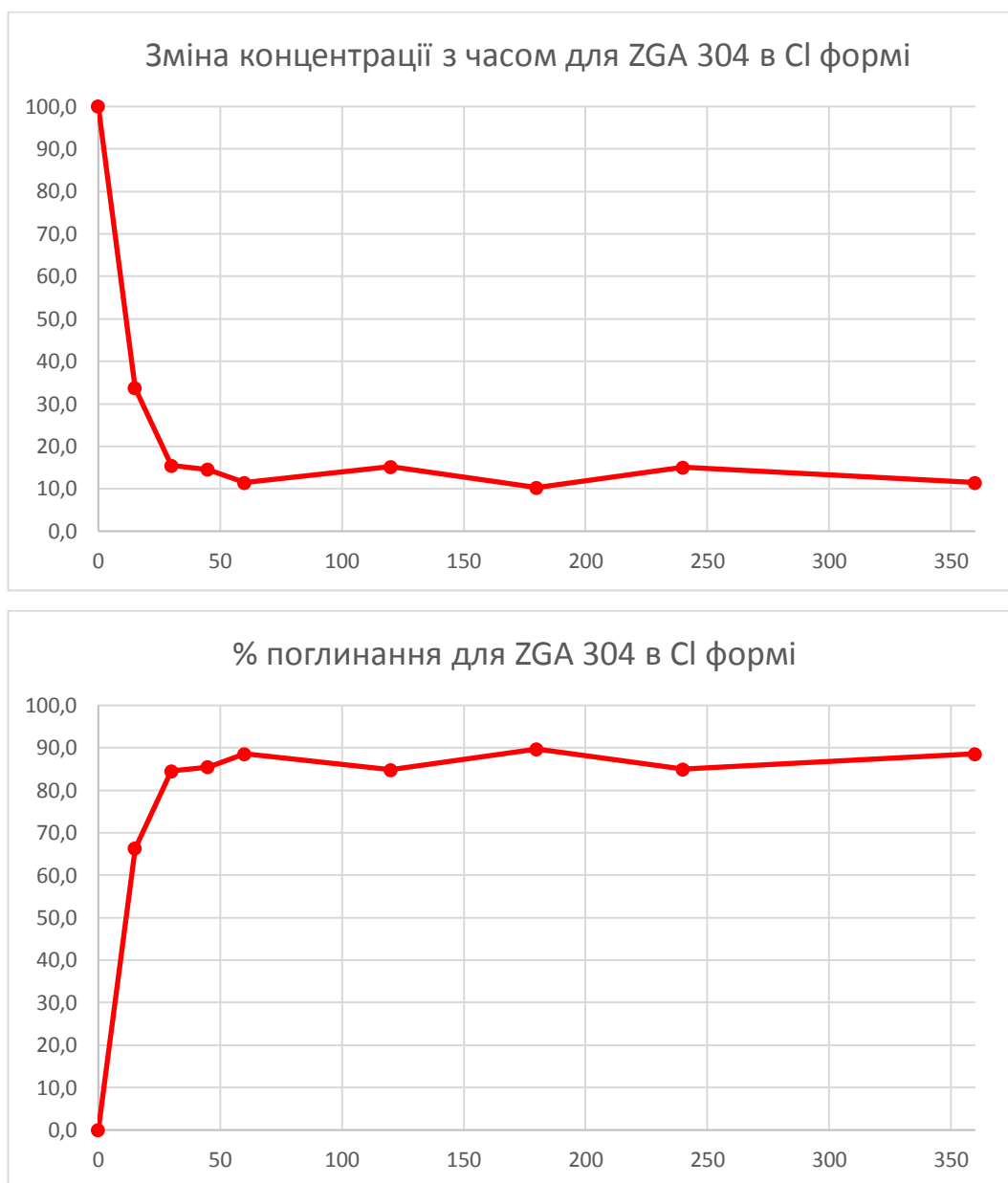


Рисунок 4.2 – Графіки зміни концентрації для ZGA 304 в Cl-формі

Для макропористого аніоніту ZGD 890 в ОН формі взяли наважку $m = 3,0779$ г та перенесли у 500 мл розчину з концентрацією нітратів 100 мг/л. Ставили розчин на магнітну мішалку і через 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 360 хвилин відбирали по 0,5 мл на визначення концентрації нітратів.

Розраховували концентрацію нітратів:

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,166 \cdot 50}{0,5} = 16,6 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,104 \cdot 50}{0,5} = 10,4 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,050 \cdot 50}{0,5} = 5,0 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,060 \cdot 50}{0,5} = 6,0 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{120} = \frac{0,011 \cdot 50}{0,5} = 1,1 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{180} = \frac{0,106 \cdot 50}{0,5} = 10,6 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{240} = \frac{0,040 \cdot 50}{0,5} = 4,0 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{360} = \frac{0,037 \cdot 50}{0,5} = 3,7 \text{ мг/л}.$$

Результат дослідження представлено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Результат визначення кінетики для ZGD 890 в ОН формі

τ, хв	A	Концентрація NO ₃ ²⁻ , мг/л	% поглинання
15	0,157	16,6	83,4
30	0,098	10,4	89,6
45	0,047	5,0	95,0
60	0,057	6,0	94,0
120	0,010	1,1	98,9
180	0,100	10,6	89,4
240	0,038	4,0	96,0
360	0,035	3,7	96,3

За результатами дослідів побудували графік зміни концентрації з часом та графік відсотку поглинання (рис 4.3).

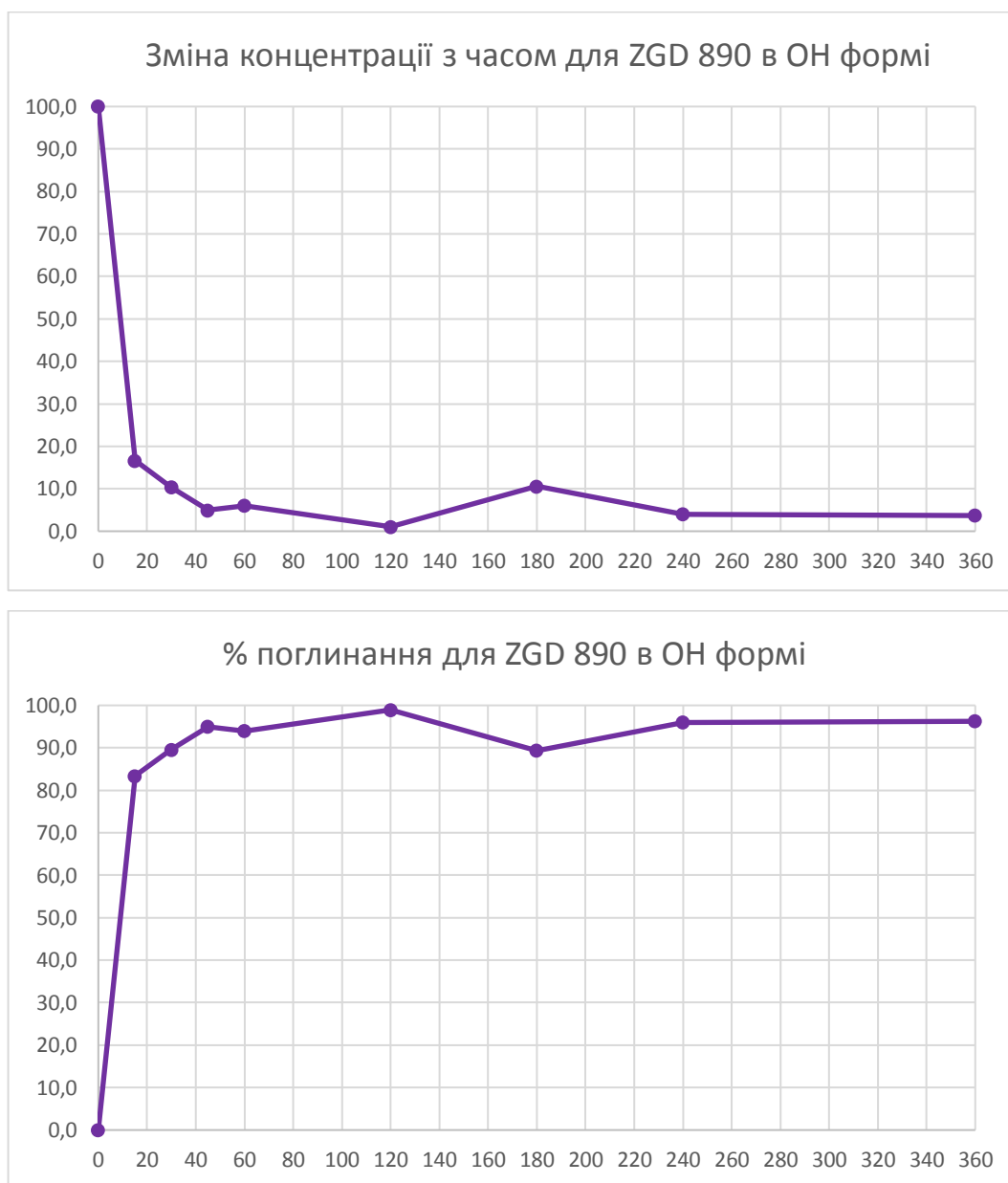


Рисунок 4.3 – Графіки зміни концентрації для ZGD 890 в Cl-формі

Для макропористого аніоніту ZGD 890 в Cl-формі взяли наважку $m = 1,8797$ г та перенесли у 500 мл розчину з концентрацією нітратів 100 мг/л. Ставили розчин на магнітну мішалку і через 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 360 хвилин відбирали по 0,5 мл на визначення концентрації нітратів.

Розраховували концентрацію нітратів:

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,307 \cdot 50}{0,5} = 30,7 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,008 \cdot 50}{0,5} = 0,8 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,022 \cdot 50}{0,5} = 2,2 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,038 \cdot 50}{0,5} = 3,8 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{120} = \frac{0,024 \cdot 50}{0,5} = 2,4 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{180} = \frac{0,037 \cdot 50}{0,5} = 3,7 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{240} = \frac{0,029 \cdot 50}{0,5} = 2,9 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{360} = \frac{0,015 \cdot 50}{0,5} = 1,5 \text{ мг/л}.$$

Результат дослідження представлено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Результат визначення кінетики для ZGD 890 в Cl-формі

τ, хв	A	Концентрація NO ₃ ²⁻ , мг/л	% поглинання
15	0,290	30,7	69,3
30	0,008	0,8	99,2
45	0,021	2,2	97,8
60	0,036	3,8	96,2
120	0,023	2,4	97,6
180	0,035	3,7	96,3
240	0,027	2,9	97,1
360	0,014	1,5	98,5

За результатами дослідів побудували графік зміни концентрації з часом та графік відсотку поглинання (рис 4.4).

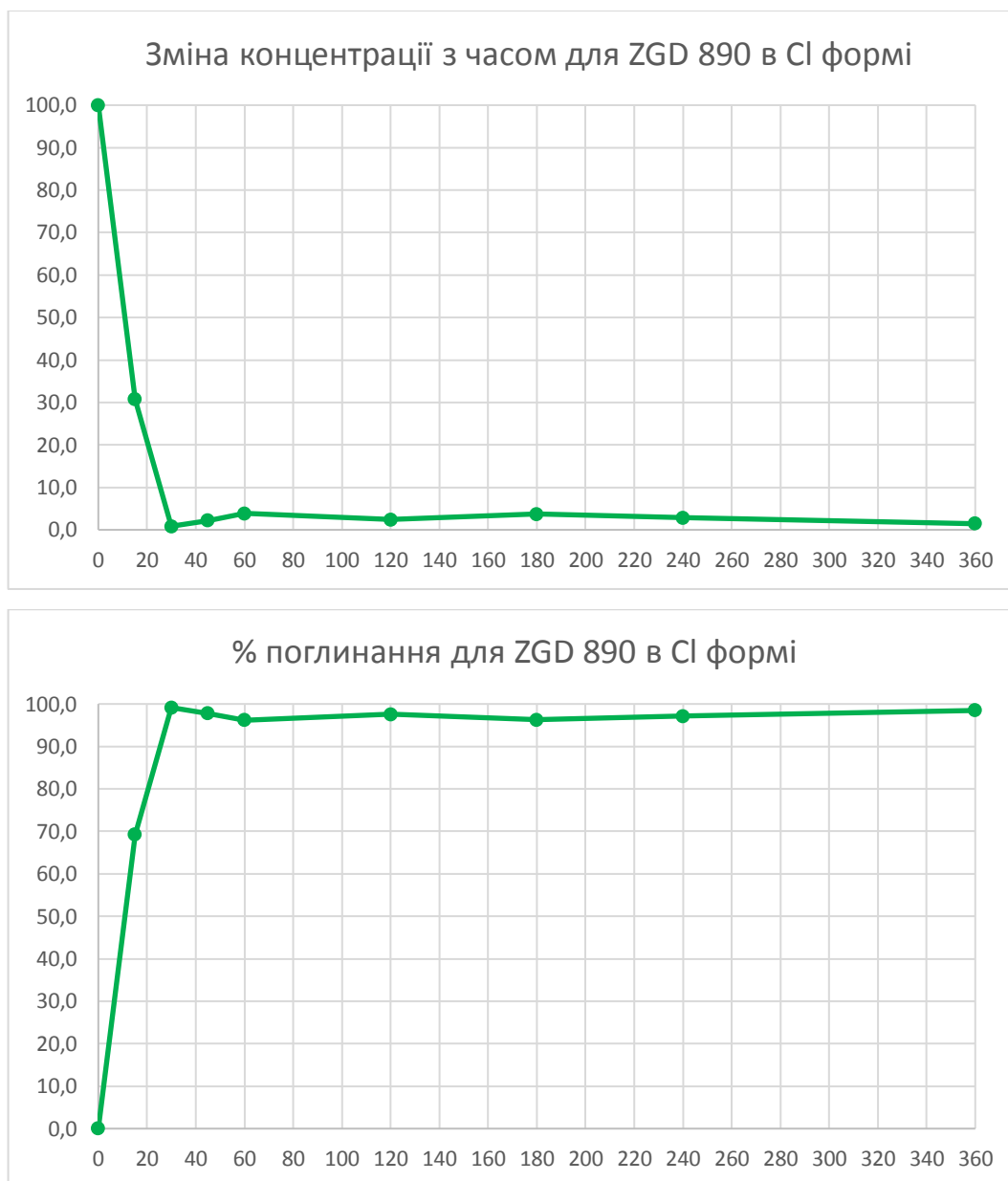


Рисунок 4.4 – Графіки зміни концентрації для ZGD 890 в CI-формі

Загальні графіки представлені на рисунку 4.5.

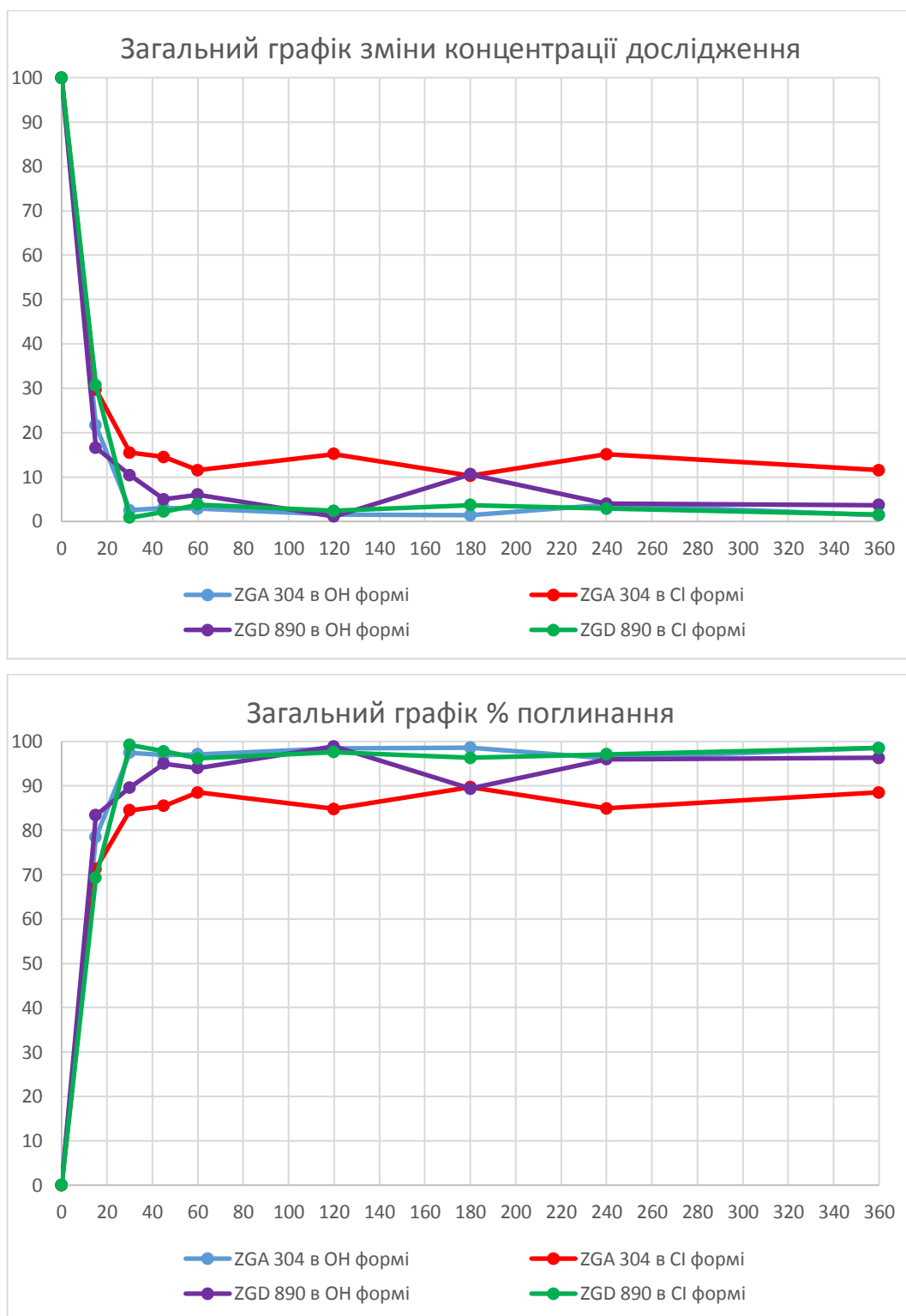


Рисунок 4.5 – Загальні графіки дослідження

За даними з графіку, було встановлено, що через 60 хвилин в системі встановлюється рівновага, за якою рівноважна концентрація становить не більше 11,5 мг/л та ступінь поглинання не менше 88 % іонів нітратів. На початку процесу максимальну швидкість поглинання нітратів має

макропористий аніоніт ZGD 890, який знаходиться в ОН-формі. Через 360 хвилин максимальний ступінь поглинання мають ZGA 304 в ОН-формі та макропористий сильноосновний аніоніт ZGD 890 в Cl-формі. Менш всіх поглинає нітрати аніоніт ZGA 304 в Cl-формі. Встановили, що здатність поглинання нітратів для нітрат селективної смоли не залежить від іонної форми (поглинає нітрати майже однаково).

На основі проведеного дослідження порівняли концентрації та ступеня поглинання нітратів після 360 хвилин та початковій концентрації нітратів 100 мг/л. Дані зведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Концентрація та ступень поглинання нітратів при $\tau = 360$ хвилин та $C_{0NO_3} = 100$ мг/л.

Аніоніт	Концентрація після 360 хвилин, мг/л	Ступень поглинання нітратів після 360 хвилин, %
ZGA 304 в ОН-формі	1,4	98,6
ZGD 890 в ОН-формі	3,7	96,3
ZGA 304 в Cl-формі	11,5	88,5
ZGD 890 в Cl-формі	1,5	98,5

4.3 Дослідження кінетики поглинання нітратів

Для дослідження готували розчин з концентрацією нітратів 500 мг/л. Для його приготування наважку нітрату калію у 0,8150 г розчиняли в 1 л води. Наважку аніоніту переносили у 0,5 л розчину та ставили на магнітну мішалку. Протягом 60 хвилин через кожні 5 хвилин відбирали 0,5 мл досліджуваного розчину на визначення концентрації нітратів.

Для дослідження ефективності поглинання нітратів сильноосновного аніоніту ZGA 304 в ОН-формі взяли наважку $m = 2,5733$ г (1 г сухої смоли). Результат дослідження представлено в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – дослідження ефективності поглинання нітратів ZGA 304 в ОН-формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,722	0,007	0,715	100
10	0,512	0,016	0,496	100
15	0,446	0,021	0,425	100
20	0,376	0,015	0,361	100
25	0,359	0,014	0,345	100
30	0,696	0,021	0,675	50
35	0,682	0,008	0,676	50
40	0,648	0,027	0,621	50
45	0,664	0,014	0,650	50
50	0,647	0,012	0,635	50
55	0,660	0,014	0,646	50
60	0,630	0,018	0,612	50

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,715}{0,2274} \cdot 100 = 314 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,496}{0,2274} \cdot 100 = 218 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,425}{0,2274} \cdot 100 = 187 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,361}{0,2274} \cdot 100 = 159 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,345}{0,2274} \cdot 100 = 152 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,675}{0,2274} \cdot 50 = 148 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,676}{0,2274} \cdot 50 = 148 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,621}{0,2274} \cdot 50 = 137 \text{ мг/л};$$

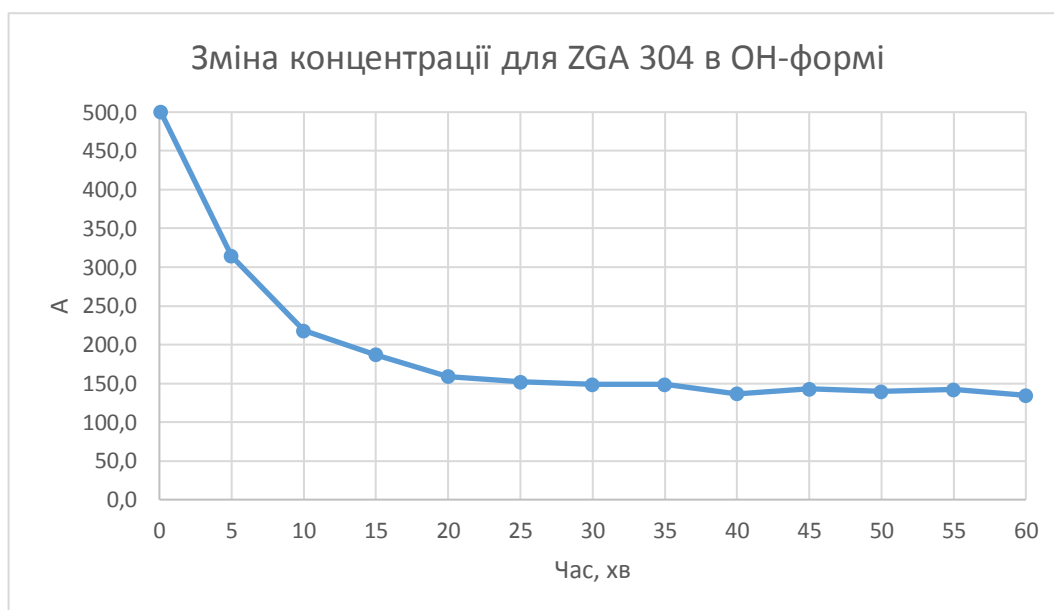
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,650}{0,2274} \cdot 50 = 143 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,635}{0,2274} \cdot 50 = 139 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,646}{0,2274} \cdot 50 = 142 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,675}{0,2274} \cdot 50 = 135 \text{ мг/л};$$

За отриманими даними дослідження побудували графік зміни концентрації з часом та % поглинання нітратів (рис 4.6).



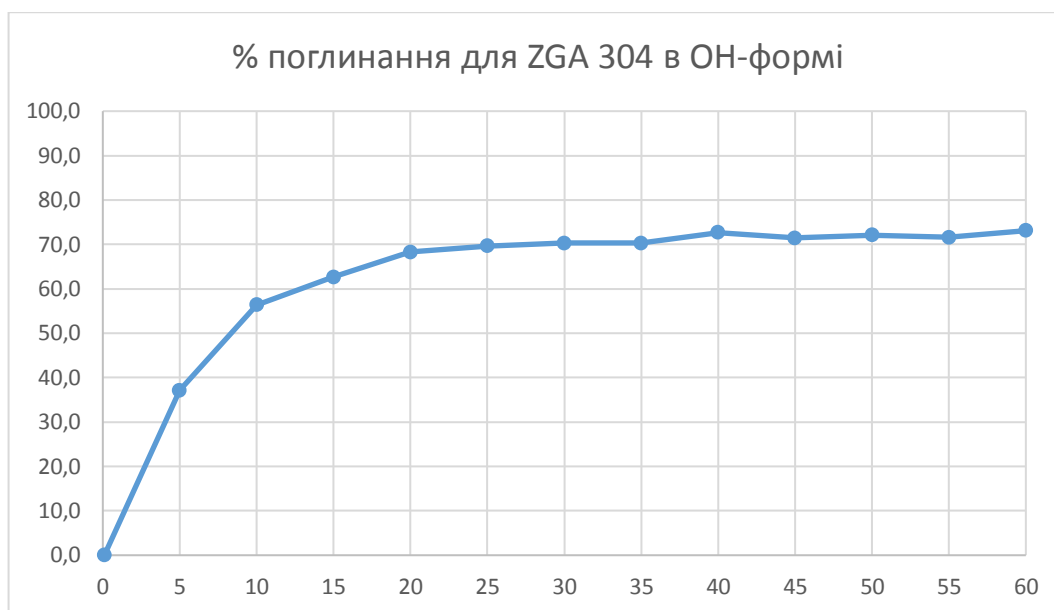


Рисунок 4.6 – Графік зміни концентрації та % поглинання нітратів для ZGA 304 в ОН-формі

Для дослідження ефективності поглинання нітратів сильноосновного аніоніту ZGA 304 в Cl-формі взяли наважку $m = 2,0133$ г (1 г сухої смоли). Результат дослідження представлено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – дослідження ефективності поглинання нітратів ZGA 304 в Cl-формі

τ, хв	A_1 при 220 нм	A_2 при 275 нм	$A_1 - A_2$	Кратність розбавлення
5	0,735	0,011	0,724	100
10	0,628	0,001	0,627	100
15	0,522	0,001	0,521	100
20	0,478	0,003	0,475	100
25	0,445	-0,004	0,449	100
30	0,414	-0,006	0,420	100
35	0,436	0,004	0,440	100
40	0,426	-0,003	0,429	100

Продовження таблиці 4.10

45	0,433	-0,002	0,435	100
50	0,433	-0,002	0,435	100
55	0,435	0,001	0,434	100
60	0,431	0,003	0,428	100

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,724}{0,2274} \cdot 100 = 318 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,627}{0,2274} \cdot 100 = 276 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,521}{0,2274} \cdot 100 = 229 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,475}{0,2274} \cdot 100 = 209 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,449}{0,2274} \cdot 100 = 197 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,420}{0,2274} \cdot 100 = 185 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,440}{0,2274} \cdot 100 = 194 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,429}{0,2274} \cdot 100 = 189 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,435}{0,2274} \cdot 100 = 191 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,435}{0,2274} \cdot 100 = 191 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,434}{0,2274} \cdot 100 = 191 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,428}{0,2274} \cdot 100 = 188 \text{ мг/л};$$

За отриманими даними дослідження побудували графік зміни концентрації з часом та % поглинання нітратів (рис 4.7).

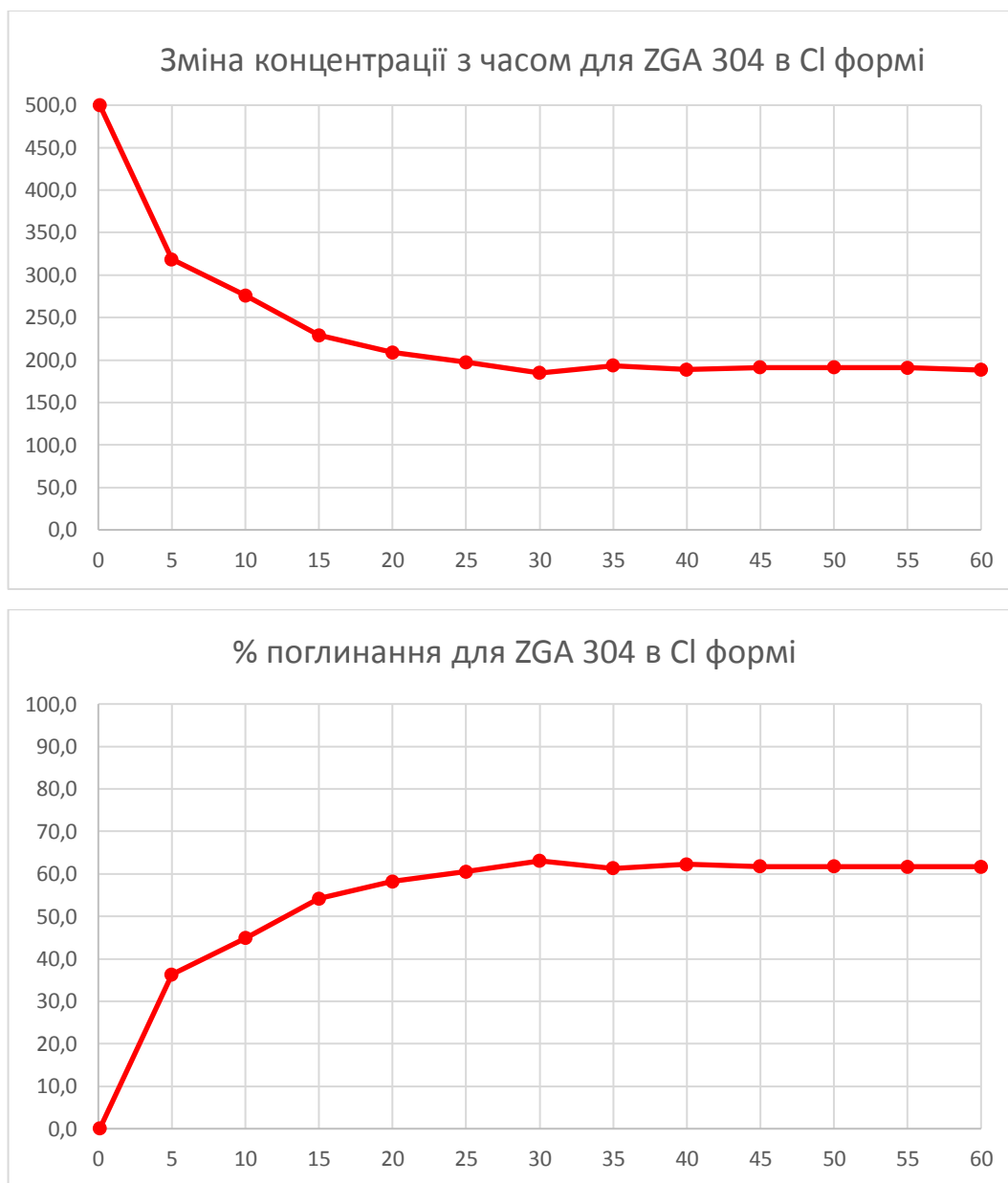


Рисунок 4.7 – Графік зміни концентрації та % поглинання нітратів для ZGA 304 в Cl-формі

Для дослідження ефективності поглинання нітратів макропористого сильноосновного аніоніту ZGD 890 в ОН формі взяли наважку $m = 3,0779$ г (1 г сухої смоли). Результат дослідження представлено в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – дослідження ефективності поглинання нітратів ZGD 890 в ОН формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,589	0,017	0,572	100
10	0,413	0,017	0,396	100
15	0,345	0,013	0,332	100
20	0,284	0,018	0,266	100
25	0,528	0,025	0,503	50
30	0,484	0,013	0,471	50
35	0,471	0,011	0,460	50
40	0,443	0,015	0,428	50
45	0,445	0,013	0,432	50
50	0,425	0,009	0,416	50
55	0,445	0,007	0,438	50
60	0,446	0,012	0,434	50

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,572}{0,2274} \cdot 100 = 252 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,396}{0,2274} \cdot 100 = 174 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,332}{0,2274} \cdot 100 = 146 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,266}{0,2274} \cdot 100 = 117 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,503}{0,2274} \cdot 50 = 111 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,471}{0,2274} \cdot 50 = 104 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,460}{0,2274} \cdot 50 = 101 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,428}{0,2274} \cdot 50 = 94 \text{ мг/л};$$

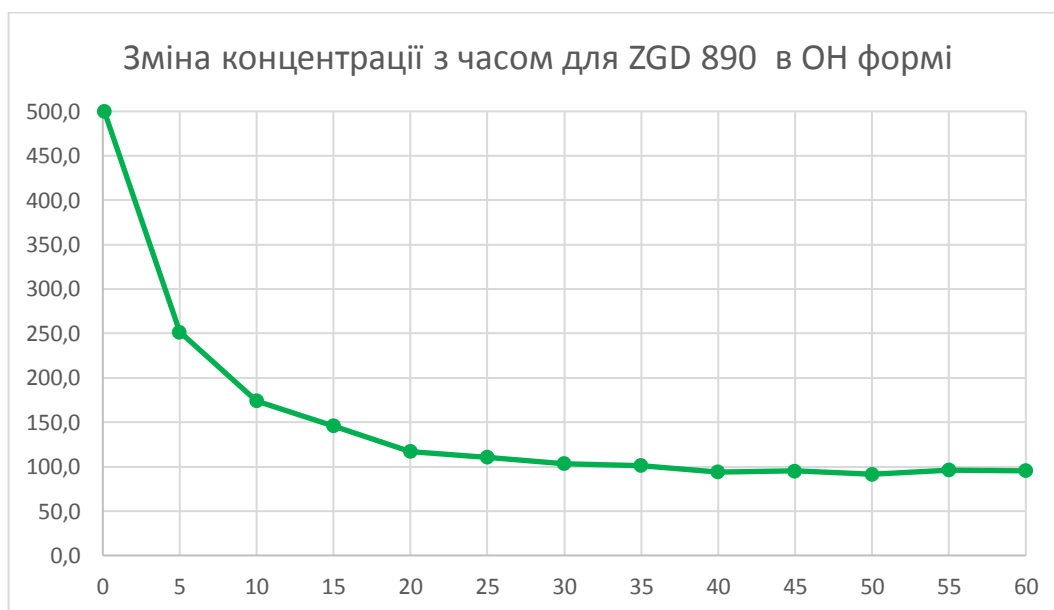
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,432}{0,2274} \cdot 50 = 95 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,416}{0,2274} \cdot 50 = 92 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,438}{0,2274} \cdot 50 = 96 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,434}{0,2274} \cdot 50 = 95 \text{ мг/л};$$

За отриманими даними дослідження побудували графік зміни концентрації з часом та % поглинання нітратів (рис 4.8).



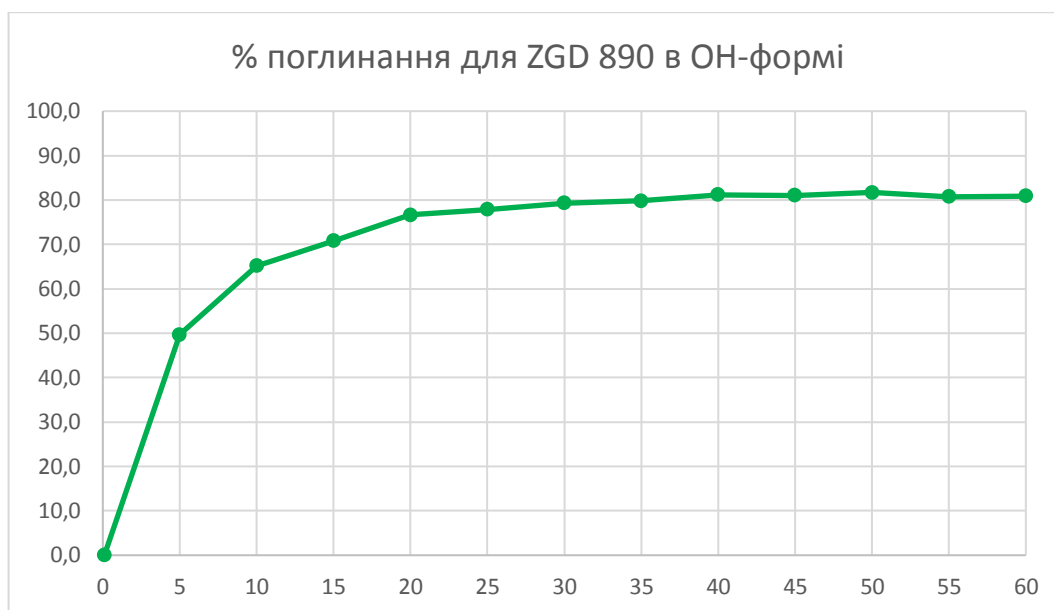


Рисунок 4.8 – Графік зміни концентрації та % поглинання нітратів для ZGD 890 в ОН-формі

Для дослідження ефективності поглинання нітратів макропористого сильноосновного аніоніту ZGD 890 в Cl-формі взяли наважку $m = 1,8807$ г (1 г сухої смоли). Результат дослідження представлено в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – дослідження ефективності поглинання нітратів ZGD 890 в Cl-формі

τ, хв	A_1 при 220 нм	A_2 при 275 нм	$A_1 - A_2$	Кратність розбавлення
5	0,782	0,010	0,772	100
10	0,610	0,000	0,610	100
15	0,570	0,000	0,570	100
20	0,522	0,006	0,516	100
25	0,499	0,001	0,498	50
30	0,486	0,004	0,482	50
35	0,465	-0,003	0,468	50
40	0,449	0,003	0,446	50

Продовження таблиці 4.12

45	0,465	0,002	0,463	50
50	0,449	0,002	0,447	50
55	0,460	0,000	0,460	50
60	0,445	-0,006	0,451	50

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,772}{0,2274} \cdot 100 = 340 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,610}{0,2274} \cdot 100 = 268 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,570}{0,2274} \cdot 100 = 251 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,516}{0,2274} \cdot 100 = 227 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,498}{0,2274} \cdot 100 = 219 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,482}{0,2274} \cdot 100 = 212 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,468}{0,2274} \cdot 100 = 206 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,446}{0,2274} \cdot 100 = 196 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,463}{0,2274} \cdot 100 = 204 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,447}{0,2274} \cdot 100 = 197 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,460}{0,2274} \cdot 100 = 202 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,451}{0,2274} \cdot 100 = 198 \text{ мг/л};$$

За отриманими даними дослідження побудували графік зміни концентрації з часом та % поглинання нітратів (рис 4.9).

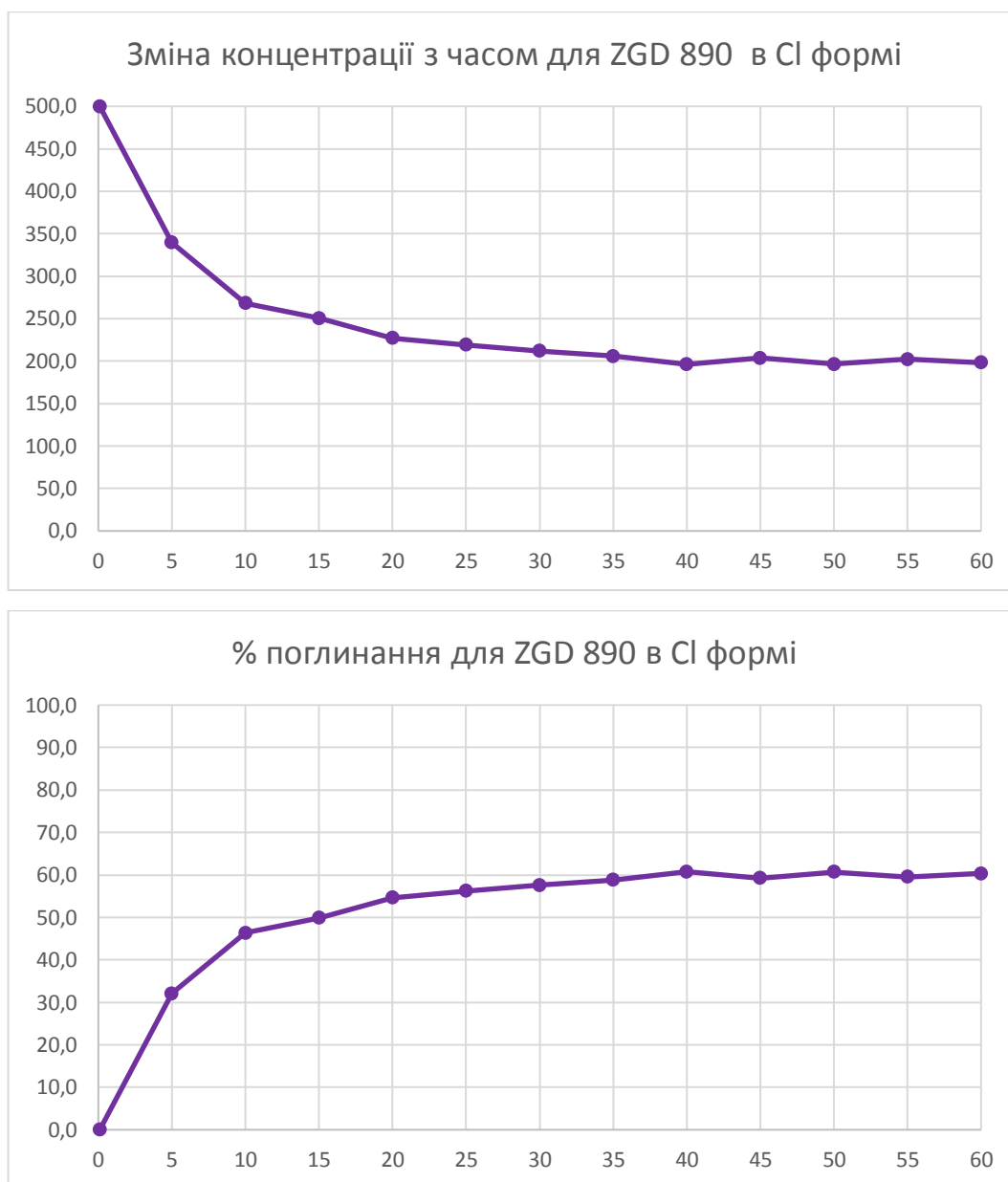


Рисунок 4.9 – Графік зміни концентрації та % поглинання нітратів для ZGD 890 в Cl-формі

Графіки порівняння поглинання нітратів досліджуваними іонообмінними смолами представлено на рисунку 4.10.

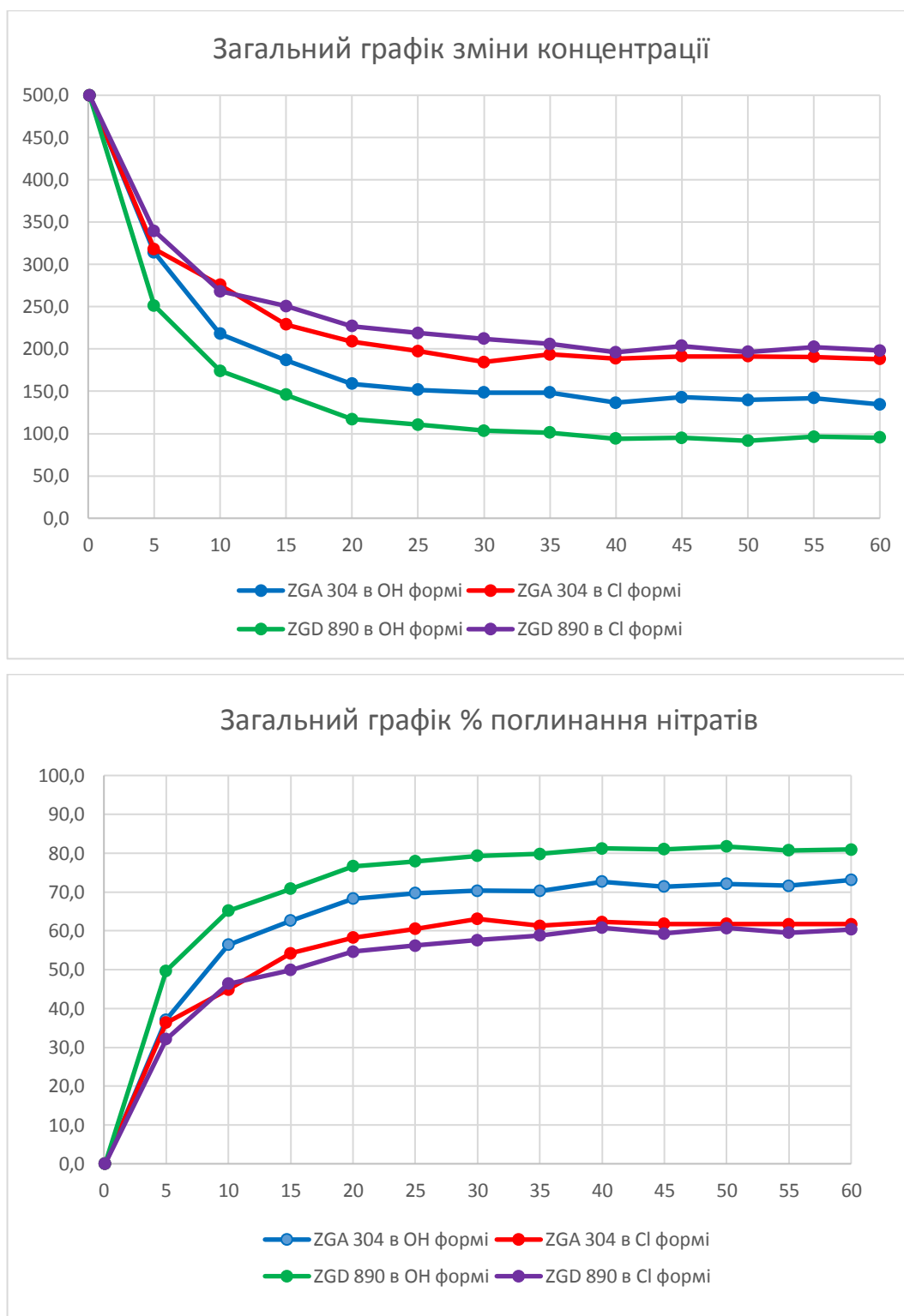


Рисунок 4.10 – Графіки поглинання нітратів

Проаналізувавши графіки було встановлено, що нітрати краще поглинає макропористий аніоніт ZGD 890 який знаходиться в ОН-формі. За 60 хвилин концентрація нітратів зменшилася у 5 разів і становила 95,4 мг/л та ступінь поглинання більше 80%. Аніоніти, що знаходились в СІ-формі майже

однаково поглинають нітрати. Через 60 хвилин їх ступінь поглинання становила 60%.

На основі проведеного дослідження порівняли концентрації та ступеня поглинання нітратів після 60 хвилин та початковій концентрації нітратів 500 мг/л. Дані зведено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 – Концентрація та ступень поглинання нітратів при $\tau = 60$ хвилин та $C_{0NO_3} = 500$ мг/л.

Аніоніт	Концентрація після 60 хвилин, мг/л	Ступень поглинання нітратів після 60 хвилин, %
ZGA 304 в ОН-формі	134,6	80,9
ZGD 890 в ОН-формі	95,4	73,1
ZGA 304 в Cl-формі	188,2	61,7
ZGD 890 в Cl-формі	198,3	60,3

4.4 Дослідження ефективності поглинання нітратів у присутності гідрокарбонатів

Дослід проводили як і в пункті 4.3. Концентрація гідрокарбонатів, яка була у розчині також була 500 мг/л (додавали 0,6885 г гідрокарбонату натрію до 1 л досліджуваного розчину). Результат дослідження представлено в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – зміна концентрації нітратів у розчині з гідрокарбонатами для ZGA 304 в ОН-формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,684	-0,030	0,714	100
10	0,570	-0,054	0,624	100
15	0,499	-0,068	0,567	100
20	0,498	0,054	0,552	100
25	0,480	-0,061	0,541	100
30	0,442	-0,060	0,502	100
35	0,470	-0,071	0,541	100
40	0,460	-0,062	0,522	100
45	0,446	-0,057	0,503	100
50	0,453	-0,072	0,522	100
55	0,444	-0,068	0,512	100
60	0,440	-0,065	0,505	100

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,714}{0,2274} \cdot 100 = 314 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,624}{0,2274} \cdot 100 = 274 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,567}{0,2274} \cdot 100 = 249 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,552}{0,2274} \cdot 100 = 243 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,541}{0,2274} \cdot 100 = 238 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,502}{0,2274} \cdot 100 = 221 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,541}{0,2274} \cdot 100 = 238 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,522}{0,2274} \cdot 100 = 230 \text{ мг/л};$$

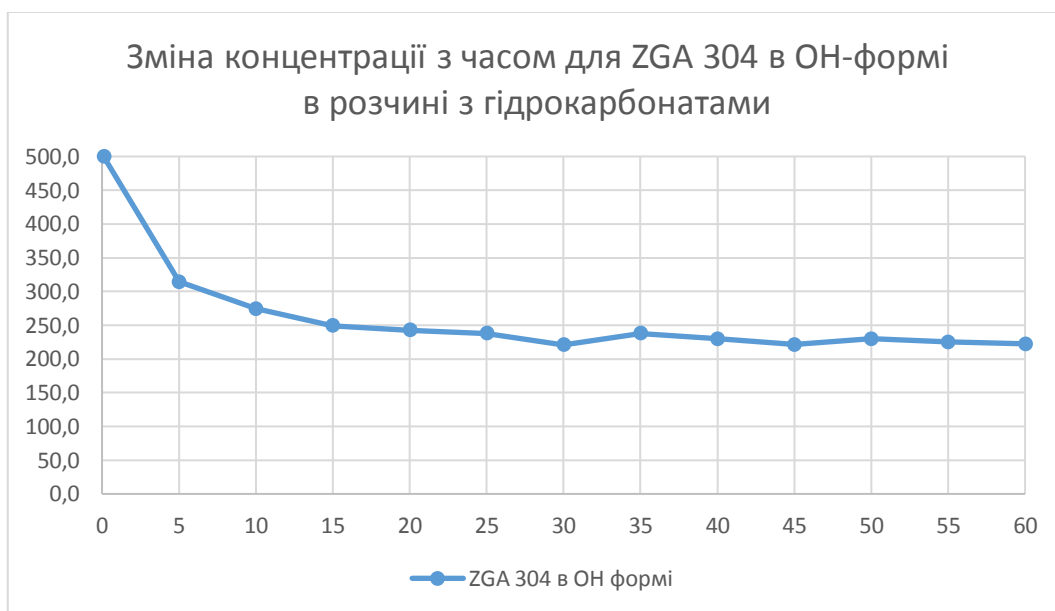
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,503}{0,2274} \cdot 100 = 221 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,522}{0,2274} \cdot 100 = 230 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,512}{0,2274} \cdot 100 = 225 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,505}{0,2274} \cdot 100 = 222 \text{ мг/л};$$

За даними з розрахунків побудували графік зміни концентрації з часом та графік % поглинання які представлені на рисунку 4.11.



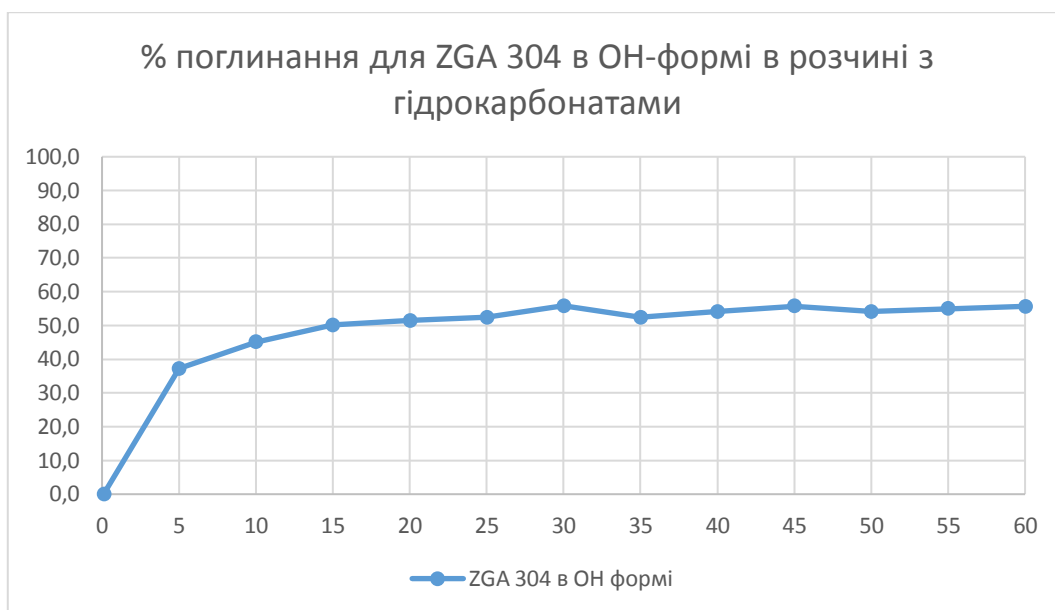


Рисунок 4.11 – Зміна концентрації для ZGA 304 в ОН-формі

Вміст гідрокарбонатів визначили в розчині після проведення іонного обміну протягом 1 години методом потенціометричного титрування. Результат титрування для аніоніту ZGA 304 в ОН-формі показані в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15 – Результат потенціометричного титрування для ZGA 304 в ОН-формі

pH	V(HCl), мл	pH	V(HCl), мл	pH	V(HCl), мл
1	2	3	4	5	6
10,42	0	7,58	4,7	5,4	10,9
10,31	0,5	7,48	4,8	5,27	11,1
10,18	1,0	7,41	4,9	5,12	11,2
10,07	1,5	7,34	5,0	4,98	11,3
9,94	2,0	7,17	5,3	4,78	11,4
9,79	2,5	7,0	5,7	4,33	11,5
9,60	3,0	6,89	6,0	4,12	11,6
9,36	3,5	6,73	6,5	3,86	11,7

Продовження таблиці 4.15

1	2	3	4	5	6
9,22	3,7	6,60	7,0	3,60	11,8
9,04	3,9	6,48	7,5	3,41	11,9
8,88	4,0	6,37	8,0	3,28	12,0
8,73	4,1	6,25	8,5	3,22	12,1
8,5	4,2	6,11	9,0	3,06	12,3
8,3	4,3	5,98	9,5	2,92	12,6
8,05	4,4	5,84	10,0	2,78	13,0
7,85	4,5	5,67	10,5	2,66	13,5
7,71	4,6	5,55	10,7	2,56	14,0

На основі отриманих даних побудували інтегральну та диференційну криві титрування (рис 4.12)

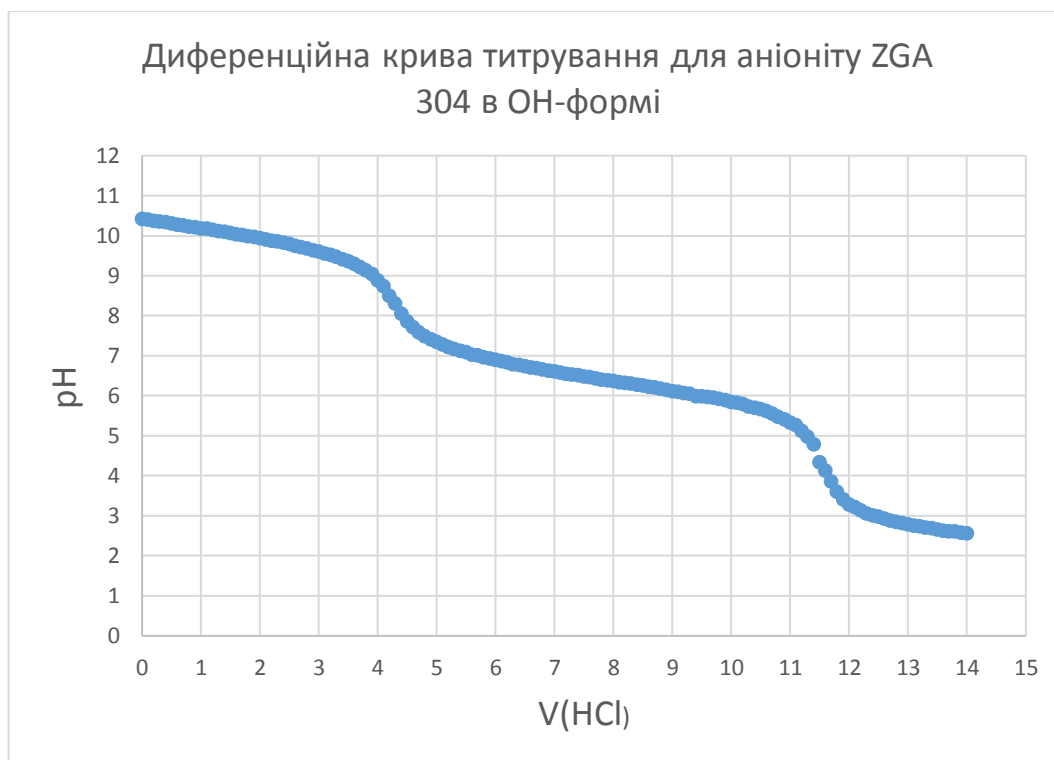
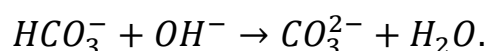




Рисунок 4.12 – Криві потенціометричного титрування

Як видно з кривих титрування у досліджуваному розчині містяться карбонат іони (крива титрування містить два стрибки). Це можна пояснити тим, що під час іонного обміну від аніоніту відщеплюється ОН група, яка реагує з гідрокарбонатами за скороченим іонним рівнянням:



Визначаємо масу карбонат іонів (CO_3^{2-}) за результатами потенціометричного титрування, г:

$$m(CO_3^{2-}) = \frac{C(HCl) \cdot V(HCl) \cdot M\left(\frac{1}{1} CO_3^{2-}\right)}{1000} = \frac{0,1 \cdot 4,3 \cdot 60}{1000} = 0,0258 \text{ г у } 100 \text{ мл досліджуваного розчину.}$$

Визначаємо концентрацію карбонат іонів:

$$C(CO_3^{2-}) = \frac{m(CO_3^{2-}) \cdot 10^6}{V_p} = \frac{0,0258 \cdot 10^6}{100} = 258 \text{ мг/л,}$$

або

$$C(CO_3^{2-}) = \frac{258}{60} = 4,3 \text{ ммоль/л},$$

де V_p – об'єм досліджуваного розчину, що взятий на аналіз.

Визначаємо масу гідрокарбонат іонів (HCO_3^-) за результатами потенціометричного титрування, г:

$$m(HCO_3^-) = \frac{C(HCl) \cdot (V_2 - V_1) \cdot M\left(\frac{1}{1} HCO_3^-\right)}{1000} = \frac{0,1 \cdot (7,1 - 4,3) \cdot 61}{1000} \\ = 0,0171 \text{ г у } 100 \text{ мл аналізованого розчину.}$$

Розраховуємо концентрацію гідрокарбонатів у розчині:

$$C(HCO_3^-) = \frac{m(HCO_3^-) \cdot 10^6}{V_p} = \frac{0,0171 \cdot 10^6}{100} = 171 \text{ мг/л},$$

або

$$C(HCO_3^-) = \frac{171}{61} = 2,8 \text{ ммоль/л.}$$

Розрахуємо кількість нітрат іонів, що поглинув 1 г сухого аніоніту у 0,5 л розчину.

Початкові кількості іонів, ммоль:

$$\nu_0(NO_3^-) = \frac{C_0(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{500}{62} \cdot 0,5 = 4,03 \text{ ммоль.}$$

За даними з графіку кінцева концентрація нітрат іонів становить $C(NO_3^-) = 222 \text{ мг/л}$. Тоді визначимо кількість нітрат іонів, що залишилися у розчині:

$$\nu(NO_3^-) = \frac{C(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{222}{62} \cdot 0,5 = 1,79 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість нітрат іонів, що було поглинуто іонітом:

$$\nu_{\Pi}(NO_3^-) = \nu_0(NO_3^-) - \nu(NO_3^-) = 4,03 - 1,79 = 2,24 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість гідрокарбонатів, що знаходяться у досліджуваному розчині:

$$\nu(\text{HCO}_3^-) = \frac{C(\text{HCO}_3^-)}{M(\text{HCO}_3^-)} V = \frac{171}{61} \cdot 0,5 = 1,4 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість карбонатів, що знаходяться у досліджуваному розчині:

$$\nu(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{C(\text{CO}_3^{2-})}{M(\text{CO}_3^{2-})} V = \frac{258}{60} \cdot 0,5 = 2,15 \text{ ммоль.}$$

Враховуючи те, що кількість утворених карбонатів буде дорівнювати кількості поглинутих нітрат іонів, визначимо кількість карбонатів, що було поглинуто аніоном:

$$\nu_{\text{п}}(\text{CO}_3^{2-}) = \nu_{\text{п}}(\text{NO}_3^-) - \nu(\text{CO}_3^{2-}) = 2,24 - 2,15 = 0,09 \text{ ммоль.}$$

Початкова кількість гідрокарбонатів у розчині:

$$\nu_0(\text{HCO}_3^-) = \frac{C_0(\text{HCO}_3^-)}{M(\text{HCO}_3^-)} V = \frac{500}{61} \cdot 0,5 = 4,1 \text{ ммоль.}$$

Так як карбонат іони утворилися з іонів гідрокарбонатів, тоді визначимо кількість гідрокарбонатів, що було поглинуто іоном:

$$\begin{aligned} \nu_{\text{п}}(\text{HCO}_3^-) &= \nu_0(\text{HCO}_3^-) - (\nu(\text{HCO}_3^-) + \nu(\text{CO}_3^{2-}) + \nu_{\text{п}}(\text{CO}_3^{2-})) \\ &= 4,1 - (1,4 + 2,15 + 0,09) = 0,46 \text{ ммоль.} \end{aligned}$$

Результати розрахунку зведено у таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 – Результати розрахунку для аніоніту ZGA 304 в ОН-формі

Іон	Вихідна концентрація		Концентрація після 60 хв		Різниця концентрацій	
	мг/л	ммоль/л	мг/л	ммоль/л	мг/л	ммоль/л
NO_3^-	500	8,06	222,1	3,58	277,9	4,48
HCO_3^-	500	8,2	171	2,8	71	0,92
CO_3^{2-}	-	-	258	4,3	10,8	0,18
Кількість речовини у 0,5 л розчину						
	Вихідна кількість	Утворилося речовини	Кінцева кількість	Поглинута		
	Ммоль	ммоль	ммоль	Ммоль		
NO_3^-	4,03	-	1,79	2,24		
HCO_3^-	4,1	-	1,4	0,46		
CO_3^{2-}	-	2,24	2,15	0,09		

Для сильноосновного аніоніту ZGD 890 в ОН-формі результат дослідження представлено в таблиці 4.17.

Таблиця 4.17 – зміна концентрації нітратів у розчині з гідрокарбонатами для ZGD 890 в ОН-формі

τ , хв	A_1 при 220 нм	A_2 при 275 нм	$A_1 - A_2$	Кратність розбавлення
5	0,544	-0,068	0,612	100
10	0,368	-0,075	0,443	100
15	0,291	-0,070	0,361	100
20	0,271	-0,064	0,335	100
25	0,535	-0,071	0,606	50

Продовження таблиці 4.17

30	0,562	-0,064	0,626	50
35	0,491	-0,064	0,555	50
40	0,462	-0,069	0,531	50
45	0,482	-0,075	0,557	50
50	0,475	-0,070	0,545	50
55	0,441	-0,076	0,517	50
60	0,445	-0,072	0,517	50

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,612}{0,2274} \cdot 100 = 269 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,443}{0,2274} \cdot 100 = 195 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,361}{0,2274} \cdot 100 = 159 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,335}{0,2274} \cdot 100 = 147 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,606}{0,2274} \cdot 100 = 133 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,626}{0,2274} \cdot 100 = 138 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,555}{0,2274} \cdot 100 = 122 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,531}{0,2274} \cdot 100 = 117 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,557}{0,2274} \cdot 100 = 123 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,545}{0,2274} \cdot 100 = 120 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,517}{0,2274} \cdot 100 = 114 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,517}{0,2274} \cdot 100 = 114 \text{ мг/л};$$

За даними з розрахунків побудували графік зміни концентрації з часом та графік % поглинання які представлені на рисунку 4.13.

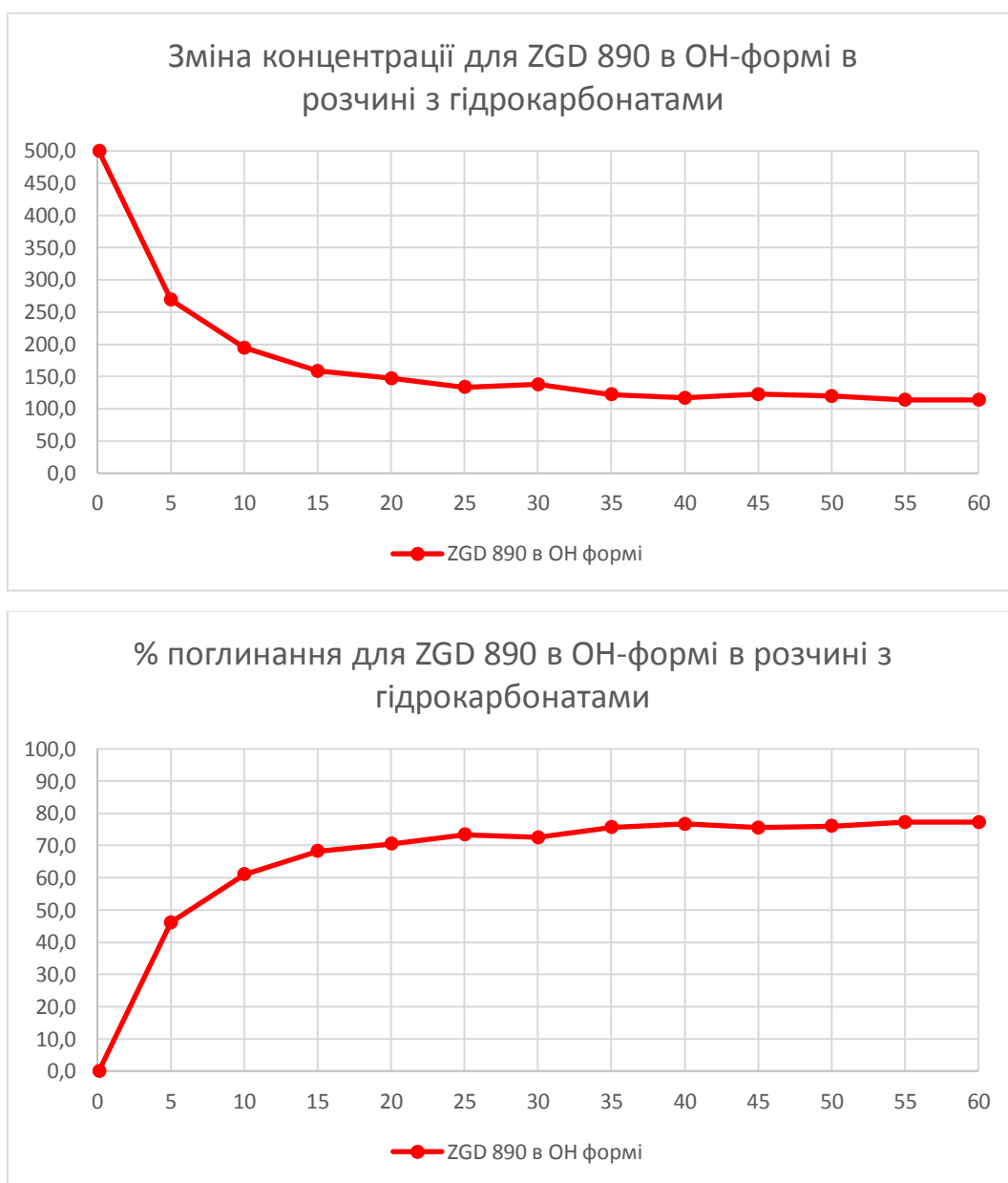


Рисунок 4.13 – Зміна концентрації для ZGD 890 в ОН-формі

Результат потенціометричного титрування представлено в таблиці 4.18

Таблиця 4.18 – Результат потенціометричного титрування для ZGD 890 в ОН-формі

pH	V(HCl), мл	pH	V(HCl), мл	pH	V(HCl), мл
10,50	0	7,85	5,6	5,69	12,3
10,42	0,5	7,72	5,7	5,54	12,6
10,32	1,0	7,62	5,8	5,36	12,9
10,23	1,5	7,46	6,0	5,18	13,1
10,11	2,0	7,27	6,3	4,93	13,3
10,00	2,5	7,10	6,7	4,74	13,4
9,88	3,0	7,00	7,0	4,45	13,5
9,75	3,5	6,85	7,5	4,12	13,6
9,57	4,0	6,72	8,0	3,81	13,7
9,44	4,3	6,61	8,5	3,58	13,8
9,22	4,7	6,51	9,0	3,41	13,9
8,96	5,0	6,41	9,5	3,24	14,1
8,79	5,1	6,30	10,0	3,11	14,3
8,64	5,2	6,19	10,5	2,99	14,5
8,44	5,3	6,08	11,0	2,90	14,7
8,22	5,4	5,96	11,5	2,79	15,0
8,02	5,5	5,79	12,0	2,66	15,5

За результатами потенціометричного титрування для даного аніоніту будуємо диференціальну та інтегральну криві які показані на рисунку 4.14.

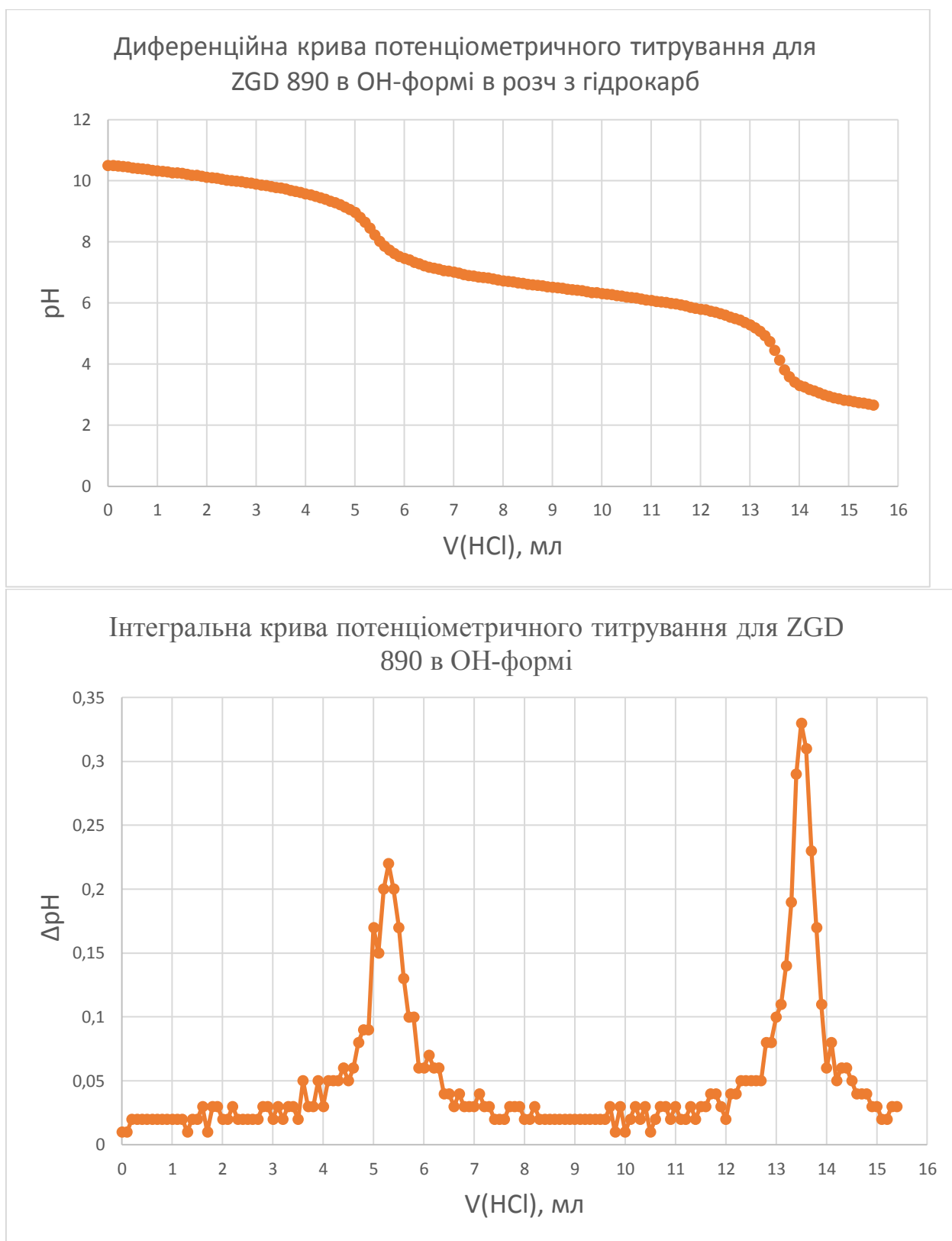


Рисунок 4.14 – Криві потенціометричного титрування для ZGD 890 в ОН-формі

За даними з графіку титрування видно, що у досліджуваному розчині присутні карбонат іони. Крива титрування також має два стрибки. За реакцією

за показана вище в результаті відщеплення ОН групи від аніоніту будуть утворюватися карбонат іони.

Визначаємо масу карбонат іонів (CO_3^{2-}) за результатами потенціометричного титрування, г:

$$m(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{C(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot M\left(\frac{1}{1}\text{CO}_3^{2-}\right)}{1000} = \frac{0,1 \cdot 5,3 \cdot 60}{1000} = 0,0318 \text{ г у } 100 \text{ мл досліджуваного розчину.}$$

Визначаємо концентрацію карбонат іонів:

$$C(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{m(\text{CO}_3^{2-}) \cdot 10^6}{V_p} = \frac{0,0318 \cdot 10^6}{100} = 318 \text{ мг/л,}$$

або

$$C(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{318}{60} = 5,3 \text{ ммоль/л,}$$

де V_p – об'єм досліджуваного розчину, що взятий на аналіз.

Визначаємо масу гідрокарбонат іонів (HCO_3^-) за результатами потенціометричного титрування, г:

$$m(\text{HCO}_3^-) = \frac{C(\text{HCl}) \cdot (V_2 - V_1) \cdot M\left(\frac{1}{1}\text{HCO}_3^-\right)}{1000} = \frac{0,1 \cdot (8,2 - 5,3) \cdot 61}{1000} = 0,0177 \text{ г у } 100 \text{ мл аналізованого розчину.}$$

Розраховуємо концентрацію гідрокарбонатів у розчині:

$$C(\text{HCO}_3^-) = \frac{m(\text{HCO}_3^-) \cdot 10^6}{V_p} = \frac{0,0177 \cdot 10^6}{100} = 177 \text{ мг/л,}$$

або

$$C(\text{HCO}_3^-) = \frac{177}{61} = 2,9 \text{ ммоль/л,}$$

Розрахуємо кількість нітрат іонів, що поглинув 1 г сухого аніоніту у 0,5 л розчину.

Початкові кількості іонів, ммоль:

$$\nu_0(NO_3^-) = \frac{C_0(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{500}{62} \cdot 0,5 = 4,03 \text{ ммоль.}$$

За даними з графіку кінцева концентрація нітрат іонів становить $C(NO_3^-) = 114 \text{ мг/л}$. Тоді визначимо кількість нітрат іонів, що залишилися у розчині:

$$\nu(NO_3^-) = \frac{C(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{114}{62} \cdot 0,5 = 0,92 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість нітрат іонів, що було поглинуто іонітом:

$$\nu_{\text{п}}(NO_3^-) = \nu_0(NO_3^-) - \nu(NO_3^-) = 4,03 - 0,92 = 3,11 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість гідрокарбонатів, що знаходяться у досліджуваному розчині:

$$\nu(HCO_3^-) = \frac{C(HCO_3^-)}{M(HCO_3^-)} V = \frac{177}{61} \cdot 0,5 = 1,45 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість карбонатів, що знаходяться у досліджуваному розчині:

$$\nu(CO_3^{2-}) = \frac{C(CO_3^{2-})}{M(CO_3^{2-})} V = \frac{318}{60} \cdot 0,5 = 2,65 \text{ ммоль.}$$

Початкова кількість гідрокарбонатів у розчині:

$$\nu_0(HCO_3^-) = \frac{C_0(HCO_3^-)}{M(HCO_3^-)} V = \frac{500}{61} \cdot 0,5 = 4,1 \text{ ммоль.}$$

Так як кількість іонів карбонатів та гідрокарбонатів в сумі дорівнюють початковій кількості гідрокарбонатів у досліджуваному розчині, приймаємо, що аніоніт не поглинув іони карбонатів та гідрокарбонатів.

Результати розрахунку зведено у таблиці 4.19.

Таблиця 4.19 – Результати розрахунку для аніоніту ZGD 890 в ОН-формі

Іон	Вихідна концентрація		Концентрація після 60 хв		Різниця концентрацій	
	мг/л	ммоль/л	мг/л	ммоль/л	мг/л	ммоль/л
NO_3^-	500	8,06	114	1,84	386	4,48
HCO_3^-	500	8,2	177	2,9	0	0
CO_3^{2-}	-	-	318	5,3	0	0
Кількість речовини у 0,5 л розчину						
	Вихідна кількість	Утворилося речовини	Кінцева кількість	Поглинуто		
	ммоль	ммоль	ммоль	Ммоль		
NO_3^-	4,03	-	0,92	3,11		
HCO_3^-	4,1	-	1,45	0		
CO_3^{2-}	-	2,65	2,65	0		

Для аніоніту ZGA 304 в Cl-формі результат дослідження представлено в таблиці 4.20.

Таблиця 4.20 – Зміна концентрації нітратів у розчині з гідрокарбонатами для ZGA 304 в Cl-формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,678	-0,040	0,718	100
10	0,563	-0,040	0,603	100
15	0,512	-0,048	0,560	100
20	0,444	-0,057	0,495	100
25	0,443	-0,052	0,497	100
30	0,446	-0,041	0,487	100
35	0,421	-0,051	0,472	100
40	0,401	-0,061	0,461	100
45	0,424	-0,048	0,472	100
50	0,410	-0,049	0,459	100
55	0,419	-0,052	0,471	100
60	0,437	-0,052	0,489	100

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,718}{0,2274} \cdot 100 = 316 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,603}{0,2274} \cdot 100 = 265 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,560}{0,2274} \cdot 100 = 246 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,495}{0,2274} \cdot 100 = 218 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,497}{0,2274} \cdot 100 = 219 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,487}{0,2274} \cdot 100 = 214 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,472}{0,2274} \cdot 100 = 208 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,461}{0,2274} \cdot 100 = 203 \text{ мг/л};$$

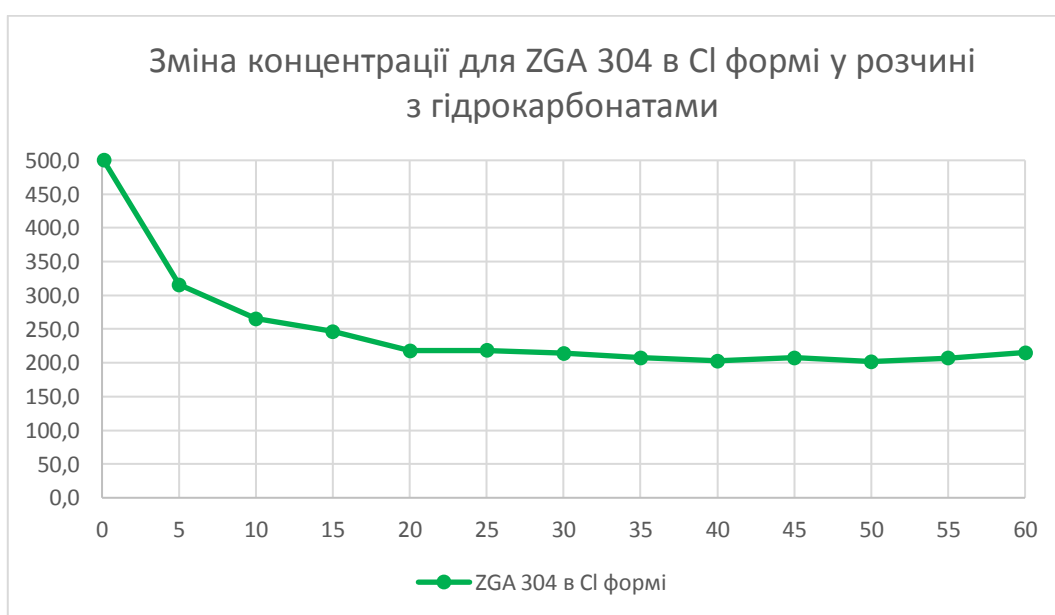
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,472}{0,2274} \cdot 100 = 208 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,459}{0,2274} \cdot 100 = 202 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,471}{0,2274} \cdot 100 = 207 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,489}{0,2274} \cdot 100 = 215 \text{ мг/л};$$

За даними з розрахунків побудували графік зміни концентрації з часом та графік % поглинання які представлені на рисунку 4.15.



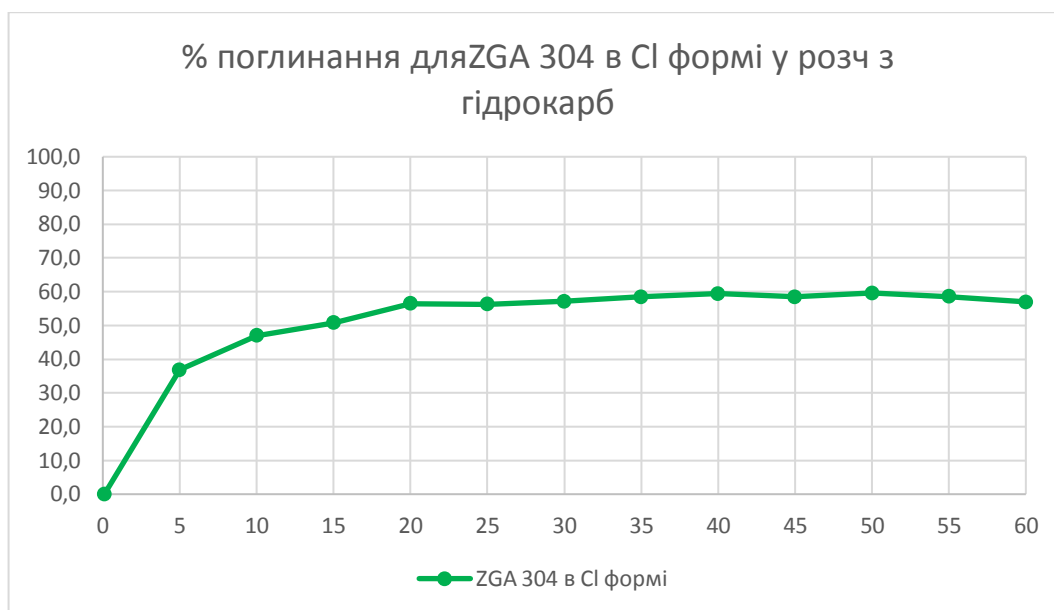


Рисунок 4.15 – Зміна концентрації для ZGA 304 в Cl-формі

Результат потенціометричного титрування для ZGA 304 в Cl-формі представлено в таблиці 4.21.

Таблиця 4.21 – Результат потенціометричного титрування для ZGA 304 в Cl-формі

pH	V(HCl), мл	pH	V(HCl), мл	pH	V(HCl), мл
8,19	0	6,38	3,5	4,93	6,5
7,78	0,2	6,25	4,0	4,74	6,6
7,52	0,4	6,12	4,5	4,36	6,7
7,29	0,7	5,95	5,0	3,98	6,8
7,12	1,0	5,76	5,5	3,67	6,9
6,92	1,5	5,68	5,7	3,48	7,0
6,77	2,0	5,56	5,9	3,24	7,2
6,63	2,5	5,43	6,1	3,04	7,5
6,51	3,0	5,24	6,3	2,81	8,0

За даними потенціометричного титрування будуюмо криві титрування, які показані на рисунку 4.16

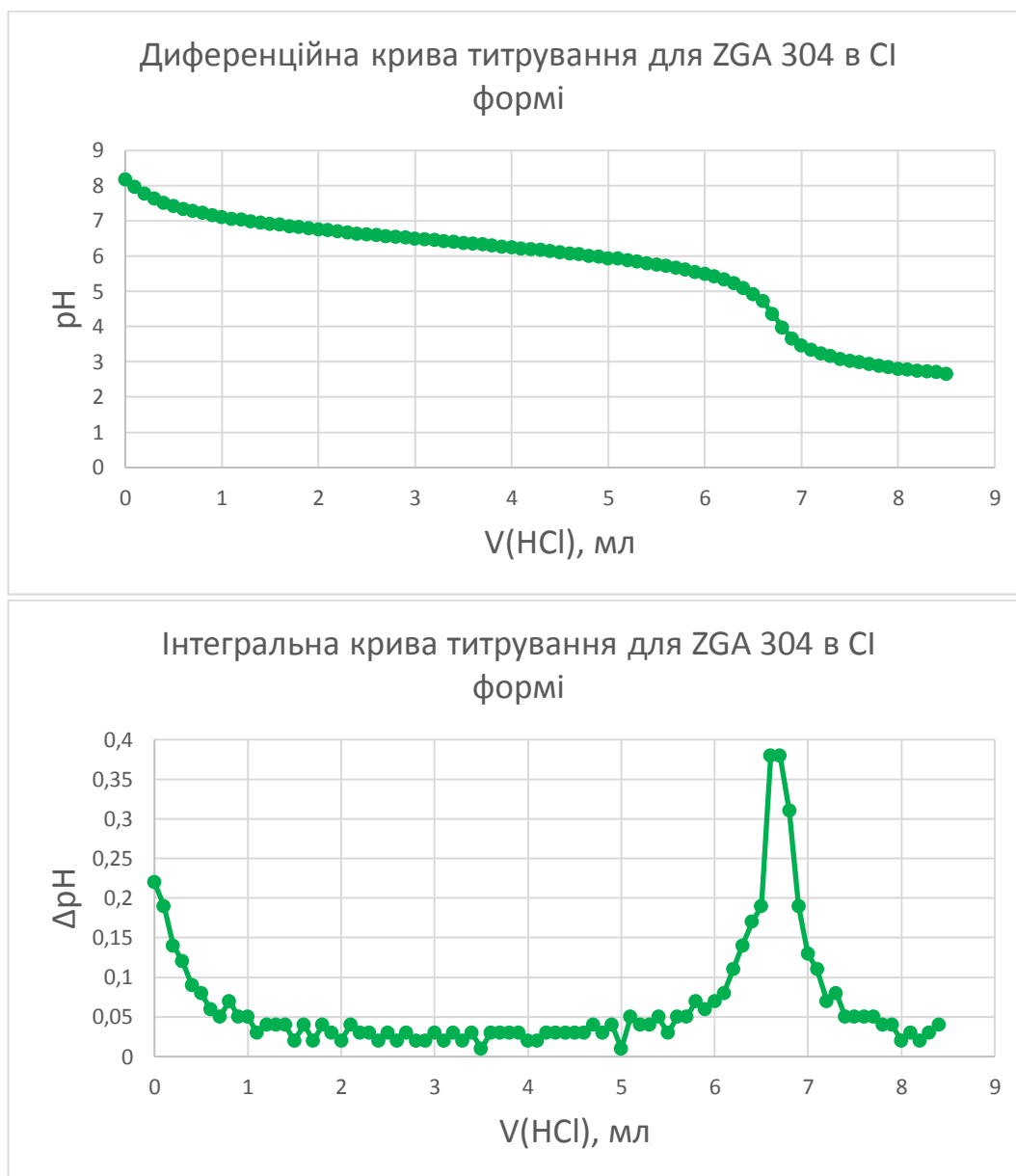


Рисунок 4.16 – Криві титрування для ZGA 304 в Cl-формі

За даними з графіку видно, що у розчині є тільки гідрокарбонати (графік має один пік).

Визначаємо масу гідрокарбонат іонів (HCO_3^-) за результатами потенціометричного титрування, г:

$$m(\text{HCO}_3^-) = \frac{C(\text{HCl}) \cdot V_1 \cdot M\left(\frac{1}{1}\text{HCO}_3^-\right)}{1000} = \frac{0,1 \cdot 6,65 \cdot 61}{1000} =$$

$$= 0,0406 \text{ г у } 100 \text{ мл аналізованого розчину.}$$

Розраховуємо концентрацію гідрокарбонатів у розчині:

$$C(\text{HCO}_3^-) = \frac{m(\text{HCO}_3^-) \cdot 10^6}{V_p} = \frac{0,0406 \cdot 10^6}{100} = 406 \text{ мг/л},$$

або

$$C(\text{HCO}_3^-) = \frac{406}{61} = 6,65 \text{ ммоль/л}.$$

Розрахуємо кількість нітрат іонів, що поглинув 1 г сухого аніоніту у 0,5 л розчину.

Початкові кількості іонів, ммоль:

$$\nu_0(\text{NO}_3^-) = \frac{C_0(\text{NO}_3^-)}{M(\text{NO}_3^-)} V = \frac{500}{62} \cdot 0,5 = 4,03 \text{ ммоль}.$$

За даними з графіку кінцева концентрація нітрат іонів становить $C(\text{NO}_3^-) = 215 \text{ мг/л}$. Тоді визначимо кількість нітрат іонів, що залишилися у розчині:

$$\nu(\text{NO}_3^-) = \frac{C(\text{NO}_3^-)}{M(\text{NO}_3^-)} V = \frac{215}{62} \cdot 0,5 = 1,73 \text{ ммоль}.$$

Визначимо кількість нітрат іонів, що було поглинуто іонітом:

$$\nu_{\Pi}(\text{NO}_3^-) = \nu_0(\text{NO}_3^-) - \nu(\text{NO}_3^-) = 4,03 - 1,73 = 2,3 \text{ ммоль}.$$

Визначимо кількість гідрокарбонатів, що знаходяться у досліджуваному розчині:

$$\nu(\text{HCO}_3^-) = \frac{C(\text{HCO}_3^-)}{M(\text{HCO}_3^-)} V = \frac{406}{61} \cdot 0,5 = 3,33 \text{ ммоль}.$$

Початкова кількість гідрокарбонатів у розчині:

$$\nu_0(\text{HCO}_3^-) = \frac{C_0(\text{HCO}_3^-)}{M(\text{HCO}_3^-)} V = \frac{500}{61} \cdot 0,5 = 4,1 \text{ ммоль}.$$

Кількість гідрокарбонатів, що поглинув аніоніт:

$$\nu_{\text{п}}(\text{HCO}_3^-) = \nu_0(\text{HCO}_3^-) - \nu(\text{HCO}_3^-) = 4,1 - 3,33 = 0,77 \text{ ммоль.}$$

Результати розрахунку зведено у таблиці 4.22.

Таблиця 4.22 – Результати розрахунку для аніоніту ZGA 304 в Cl-формі

Іон	Вихідна концентрація		Концентрація після 60 хв		Різниця концентрацій	
	мг/л	ммоль/л	мг/л	ммоль/л	мг/л	ммоль/л
NO_3^-	500	8,06	215	3,46	285	4,6
HCO_3^-	500	8,2	406	6,65	94	1,55
CO_3^{2-}	-	-	-	-	-	-
Кількість речовини у 0,5 л розчину						
	Вихідна кількість	Утворилося речовини	Кінцева кількість	Поглинуто		
	ммоль	ммоль	ммоль	Ммоль		
NO_3^-	4,03	-	1,73	2,3		
HCO_3^-	4,1	-	3,33	0,77		
CO_3^{2-}	-	-	-	-		

Для сильноосновного аніоніту ZGD 890 в Cl-формі результат дослідження таблиці 4.23.

Таблиця 4.23 – Зміна концентрації нітратів у розчині з гідрокарбонатами для ZGD 890 в Cl-формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,743	-0,046	0,789	100
10	0,627	-0,046	0,673	100
15	0,529	-0,041	0,570	100
20	0,487	-0,050	0,537	100
25	0,486	-0,054	0,540	100
30	0,440	-0,060	0,500	100
35	0,536	-0,064	0,600	100
40	0,446	-0,056	0,502	100
45	0,415	-0,054	0,469	100
50	0,408	-0,057	0,465	100
55	0,406	-0,057	0,463	100
60	0,429	-0,052	0,481	100

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,789}{0,2274} \cdot 100 = 347 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,673}{0,2274} \cdot 100 = 296 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,570}{0,2274} \cdot 100 = 251 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,537}{0,2274} \cdot 100 = 236 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,540}{0,2274} \cdot 100 = 238 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,500}{0,2274} \cdot 100 = 220 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,500}{0,2274} \cdot 100 = 220 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,502}{0,2274} \cdot 100 = 221 \text{ мг/л};$$

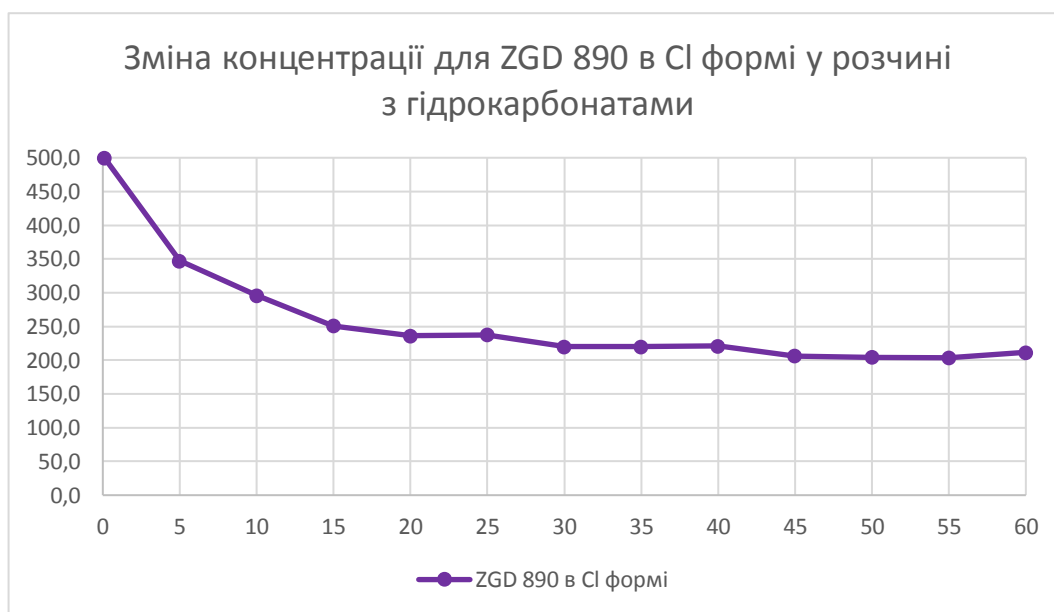
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,469}{0,2274} \cdot 100 = 206 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,465}{0,2274} \cdot 100 = 205 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,463}{0,2274} \cdot 100 = 204 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,481}{0,2274} \cdot 100 = 212 \text{ мг/л};$$

За даними з розрахунків побудували графік зміни концентрації з часом та графік % поглинання які представлені на рисунку 4.17.



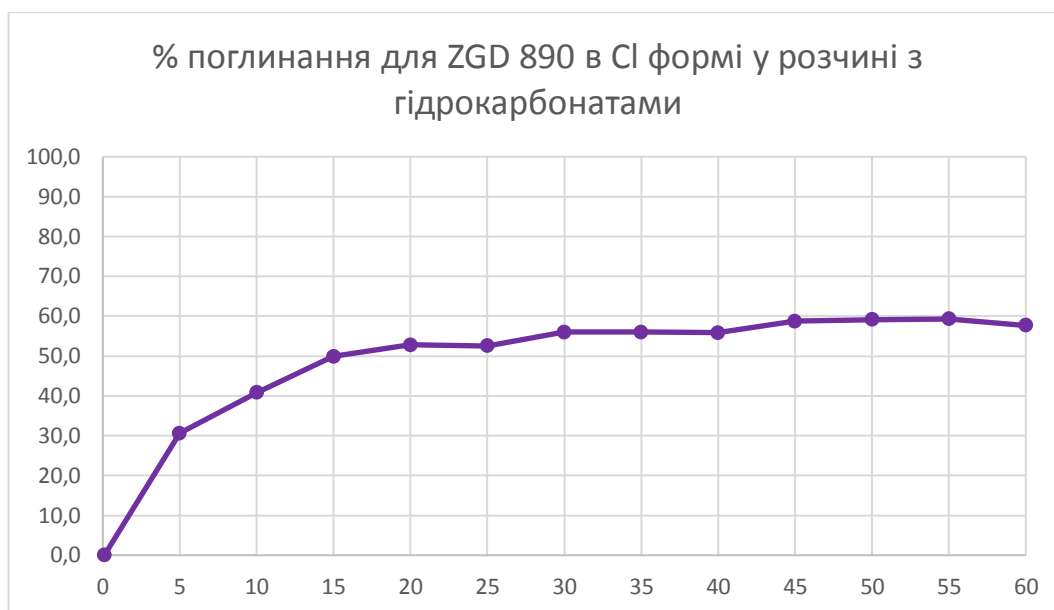


Рисунок 4.17 – Зміна концентрації для ZGD 890 в Cl-формі

Для сильноосновного аніоніту ZGD 890 в Cl-формі результат потенціометричного титрування представлено в таблиці 4.24.

Таблиця 4.24 – результат потенціометричного титрування для ZGD 890 в Cl-формі

pH	V(HCl), мл	pH	V(HCl), мл	pH	V(HCl), мл
8,26	0	6,35	4,0	4,79	7,4
7,85	0,2	6,23	4,5	4,47	7,5
7,63	0,4	6,11	5,0	4,11	7,6
7,37	0,7	5,97	5,5	3,76	7,7
7,20	1,0	5,81	6,0	3,54	7,8
7,01	1,5	5,61	6,5	3,27	8,0
6,84	2,0	5,51	6,7	3,12	8,2
6,70	2,5	5,29	7,0	2,99	8,4
6,58	3,0	5,08	7,2	2,84	8,7
6,46	3,5	5,0	7,3	2,76	9,0

На основі результатів потенціометричного титрування будуюмо диференційну та інтегральну криві (рис 4.18).

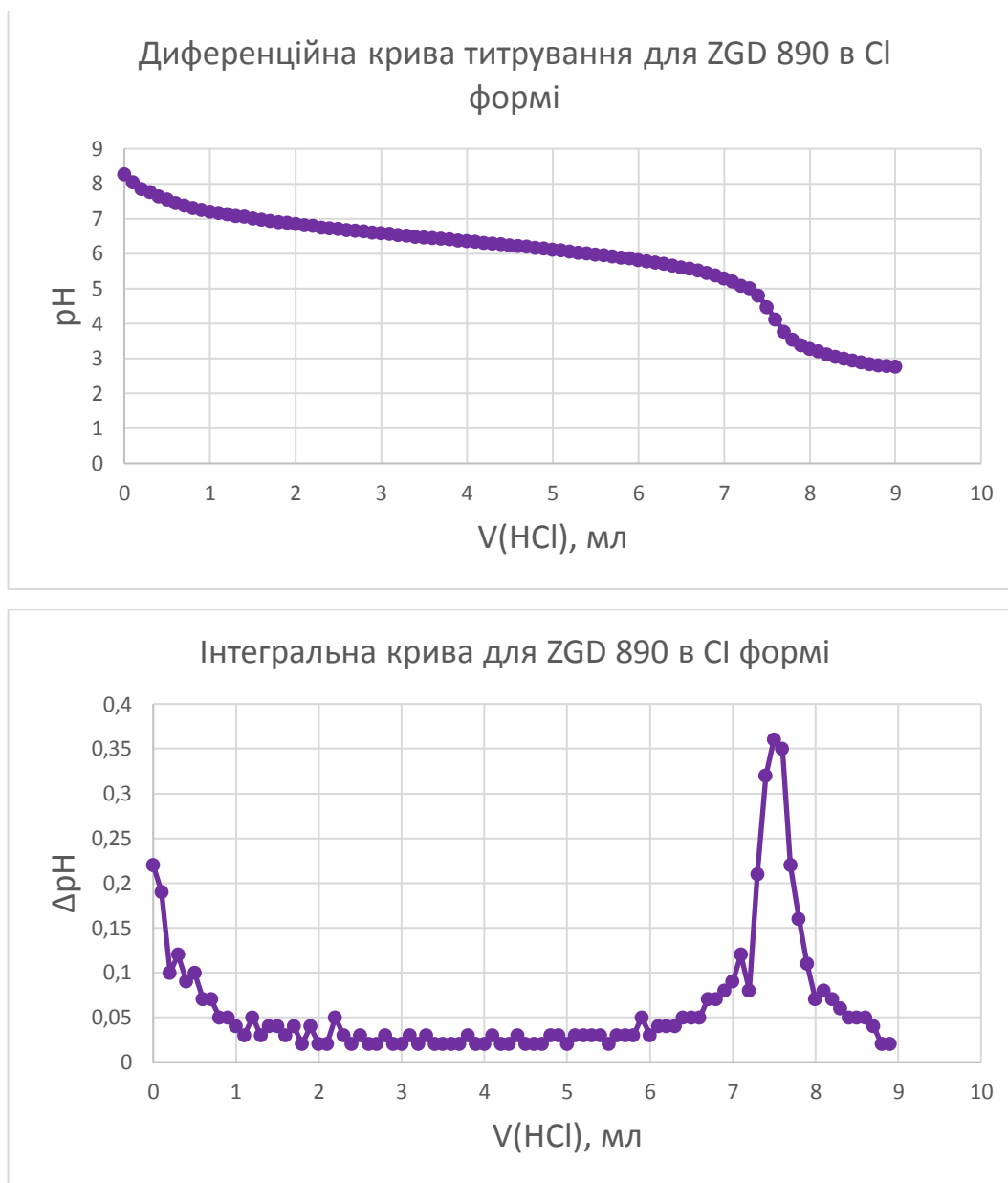


Рисунок 4.18 – Інтегральна та диференційна криві титрування для ZGD 890 в Cl-формі

Так як аніоніт перебуває у Cl-формі, то як видно на графіку крива містить один пік. Це говорить про те, що в розчині присутні іони гідрокарбонатів.

Визначаємо масу гідрокарбонат іонів (HCO_3^-) за результатами потенціометричного титрування, г:

$$m(\text{HCO}_3^-) = \frac{C(\text{HCl}) \cdot V_1 \cdot M\left(\frac{1}{1}\text{HCO}_3^-\right)}{1000} = \frac{0,1 \cdot 7,5 \cdot 61}{1000} = 0,0458 \text{ г у } 100 \text{ мл аналізованого розчину.}$$

Розраховуємо концентрацію гідрокарбонатів у розчині:

$$C(\text{HCO}_3^-) = \frac{m(\text{HCO}_3^-) \cdot 10^6}{V_p} = \frac{0,0458 \cdot 10^6}{100} = 458 \text{ мг/л,}$$

або

$$C(\text{HCO}_3^-) = \frac{458}{61} = 7,51 \text{ ммоль/л.}$$

Розрахуємо кількість нітрат іонів, що поглинув 1 г сухого аніоніту у 0,5 л розчину.

Початкові кількості іонів, ммоль:

$$\nu_0(\text{NO}_3^-) = \frac{C_0(\text{NO}_3^-)}{M(\text{NO}_3^-)} V = \frac{500}{62} \cdot 0,5 = 4,03 \text{ ммоль.}$$

За даними з графіку кінцева концентрація нітрат іонів становить $C(\text{NO}_3^-) = 212 \text{ мг/л}$. Тоді визначимо кількість нітрат іонів, що залишилися у розчині:

$$\nu(\text{NO}_3^-) = \frac{C(\text{NO}_3^-)}{M(\text{NO}_3^-)} V = \frac{212}{62} \cdot 0,5 = 1,71 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість нітрат іонів, що було поглинуто іонітом:

$$\nu_{\text{п}}(\text{NO}_3^-) = \nu_0(\text{NO}_3^-) - \nu(\text{NO}_3^-) = 4,03 - 1,71 = 2,32 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість гідрокарбонатів, що знаходяться у досліджуваному розчині:

$$\nu(\text{HCO}_3^-) = \frac{C(\text{HCO}_3^-)}{M(\text{HCO}_3^-)} V = \frac{458}{61} \cdot 0,5 = 3,75 \text{ ммоль.}$$

Початкова кількість гідрокарбонатів у розчині:

$$\nu_0(\text{HCO}_3^-) = \frac{C_0(\text{HCO}_3^-)}{M(\text{HCO}_3^-)} V = \frac{500}{61} \cdot 0,5 = 4,1 \text{ ммоль.}$$

Кількість гідрокарбонатів, що поглинув аніоніт:

$$\nu_{\text{п}}(\text{HCO}_3^-) = \nu_0(\text{HCO}_3^-) - \nu(\text{HCO}_3^-) = 4,1 - 3,75 = 0,35 \text{ ммоль.}$$

Результати розрахунку зведено у таблиці 4.25.

Таблиця 4.25 – Результати розрахунку для аніоніту ZGD 890 в Cl-формі

Іон	Вихідна концентрація		Концентрація після 60 хв		Різниця концентрацій	
	мг/л	ммоль/л	мг/л	ммоль/л	мг/л	ммоль/л
NO_3^-	500	8,06	212	3,41	288	4,65
HCO_3^-	500	8,2	458	7,51	42	0,69
CO_3^{2-}	-	-	-	-	-	-
Кількість речовини у 0,5 л розчину						
	Вихідна кількість	Утворилося речовини	Кінцева кількість	Поглинуто		
	ммоль	ммоль	ммоль	Ммоль		
NO_3^-	4,03	-	1,7	2,33		
HCO_3^-	4,1	-	3,75	0,35		
CO_3^{2-}	-	-	-	-		

Графік порівняння здатності поглинання нітратів у розчині з гідрокарбонатами представлено на рисунку 4.19.

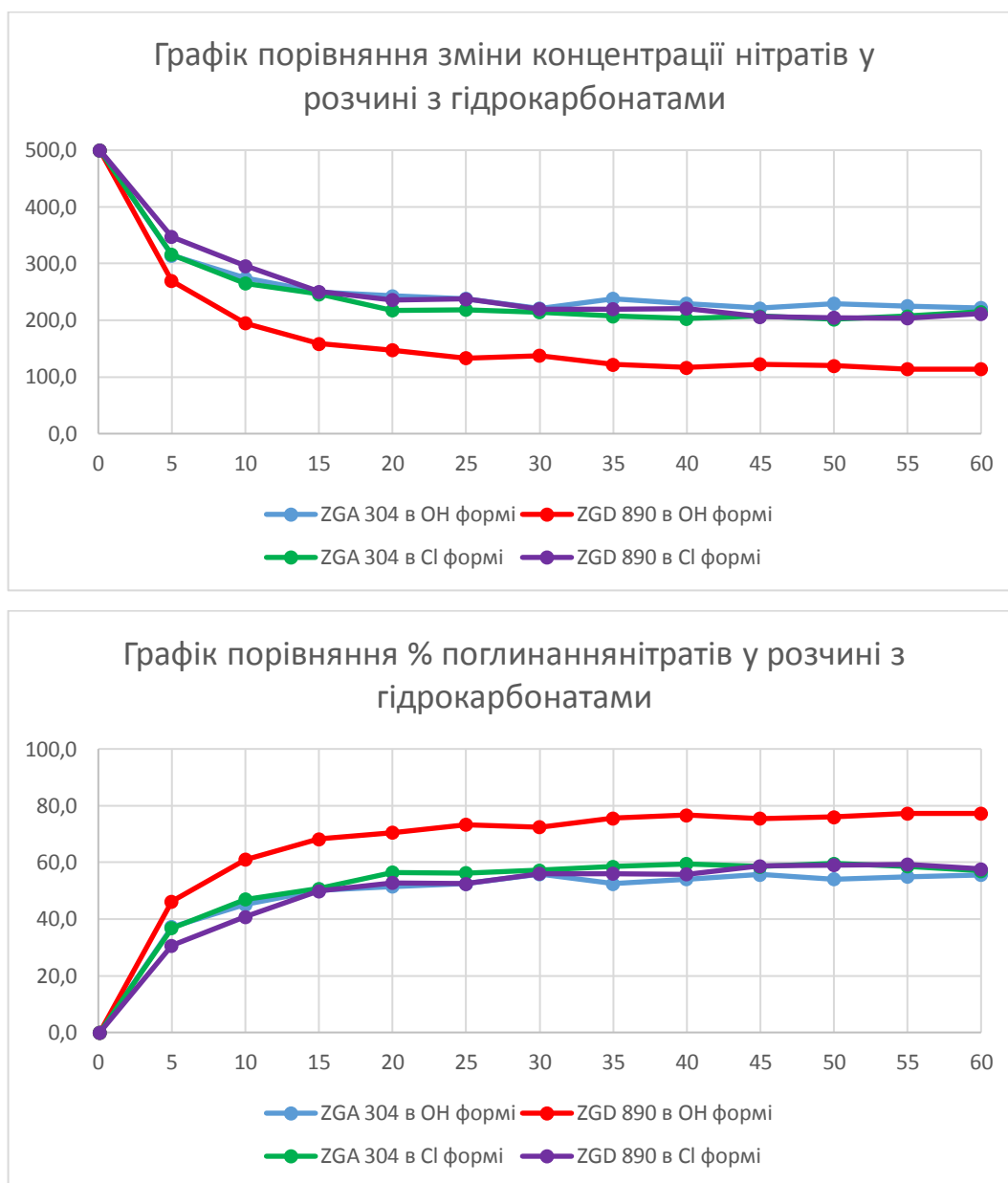


Рисунок 4.19 – Графіки порівняння здатності поглинання нітратів у розчині з гідрокарбонатами

Як видно з рисунку 4.19 незважаючи на присутність гідрокарбонатів у розчині найбільше поглинув нітрати макропористий сильноосновний аніоніт ZGD 890, що перебував в ОН-формі. Після 60 хвилин дослідів концентрація нітратів у досліджуваному розчині становила 114 мг/л, тобто аніоніт поглинув

77% нітратів. Інші зразки майже однаково поглинали нітрати, та кінцева концентрація у розчині також була однаковою (55,6-57,7%).

На основі проведеного досліді побудували таблицю для порівняння здатності поглинання нітратів у розчині з гідрокарбонатами і без них. Дані приведено в таблиці 4.26.

Таблиця 4.26 – % поглинання нітратів у розчині з HCO_3 і без них

Іоніт	Кінцевий ступень поглинання нітратів у розчині без HCO_3 , %	Кінцевий ступень поглинання нітратів у розчині з HCO_3 , %	Зміна % поглинання у присутності HCO_3 , %
ZGA 304 в OH-формі	73,1	55,6	17,5
ZGD 890 в OH-формі	80,9	77,3	3,6
ZGA 304 в Cl-формі	61,7	57,0	4,7
ZGD 890 в Cl-формі	60,3	57,7	2,6

За отриманими даними, встановили, що % поглинання нітратів у розчині з гідрокарбонатами по закінченню досліді буде меншим у порівнянні з поглинанням нітратів у розчині без гідрокарбонатів. Найбільше вони заважають поглинанню нітратів сильноосновному аніоніту, в OH-формі ZGA 304. Різниця % поглинання буде більше 17%, що значно більша у порівнянні з іншими зразками, в яких різниця поглинання була в межах 2,6-4,7%.

На основі проведеного досліді порівняли концентрації та ступеня поглинання нітратів після 60 хвилин та початковій концентрації нітратів 500 мг/л та початковій концентрації гідрокарбонатів 500 мг/л. Дані зведено в таблиці 4.27.

Таблиця 4.27 – Концентрація та ступень поглинання нітратів при $\tau = 60$ хвилин та $C_{0NO_3} = 500$ мг/л та $C_{0HCO_3} = 500$ мг/л

Смола	Початкова концентрація, мг/л			Кінцева концентрація, мг/л			Поглинено, ммоль			Σv , ммоль	$P_m - \Sigma v$, ммоль
	NO ₃	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	HCO ₃	CO ₃		
ZGA 304 в ОН формі	500	500	-	222	171	258	2,24	0,46	0,09	2,79	1,22
ZGD 890 в ОН формі	500	500	-	114	177	318	3,11	-	-	3,11	0,11
ZGA 304 в Cl-формі	500	500	-	215	406	-	2,30	0,77	-	3,07	0,94
ZGD 890 в Cl-формі	500	500	-	212	458	-	2,33	0,35	-	2,68	0,54

Як видно з таблиці 4.27 найбільшу кількість нітратів у присутності гідрокарбонатів поглинає макропористий сильноосновний аніоніт ZGD 890 в ОН-формі. За 60 хвилин він поглинув 3,11 ммоль нітратів, та не поглинув гідрокарбонати та карбонати. Інші зразки поглинули майже однакову кількість нітратів (2,24-2,33 ммоль), а також поглинали гідрокарбонати. Сильноосновний аніоніт ZGA 304 в ОН формі окрім нітратів поглинав ще гідрокарбонати та карбонати.

4.5 Дослідження здатності поглинання нітратів у розчині з сульфатами

Для досліду готували розчин з концентрацією нітратів 500 мг/л та концентрацією сульфатів 500 мг/л. Для приготування розчину наважку нітрату калію 0,8150 г та наважку сульфату натрію 0,7396 г розчиняли у 1 л води. Результат дослідження для ZGA 304 в ОН-формі представлено у таблиці 4.28.

Таблиця 4.28 – Зміна концентрації нітратів у розчині з сульфатами для ZGA 304 в ОН-формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,715	-0,002	0,717	100
10	0,692	-0,008	0,700	100
15	0,678	0,000	0,678	100
20	0,685	-0,009	0,694	100
25	0,671	-0,003	0,674	100
30	0,665	-0,009	0,674	100
35	0,663	-0,012	0,675	100
40	0,691	-0,007	0,697	100
45	0,647	-0,011	0,658	100
50	0,645	-0,010	0,655	100
55	0,674	-0,007	0,681	100
60	0,672	-0,006	0,678	100

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,717}{0,2274} \cdot 100 = 347 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,700}{0,2274} \cdot 100 = 296 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,678}{0,2274} \cdot 100 = 251 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,694}{0,2274} \cdot 100 = 236 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,674}{0,2274} \cdot 100 = 238 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,674}{0,2274} \cdot 100 = 220 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,675}{0,2274} \cdot 100 = 264 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,697}{0,2274} \cdot 100 = 221 \text{ мг/л};$$

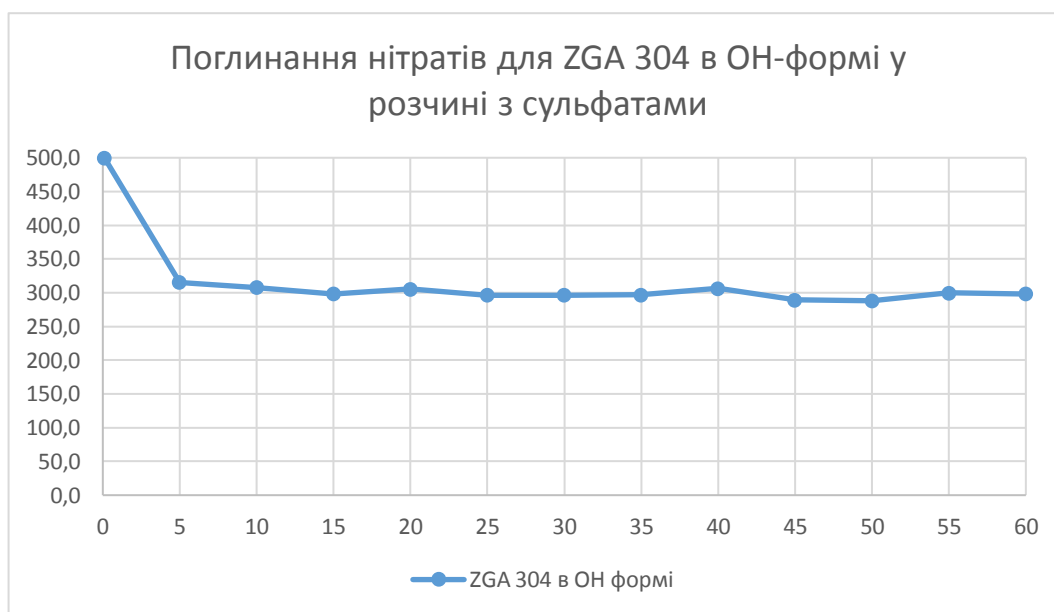
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,658}{0,2274} \cdot 100 = 206 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,655}{0,2274} \cdot 100 = 205 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,681}{0,2274} \cdot 100 = 204 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,678}{0,2274} \cdot 100 = 212 \text{ мг/л};$$

За даними з розрахунків побудували графік зміни концентрації з часом та графік % поглинання які представлені на рисунку 4.20.



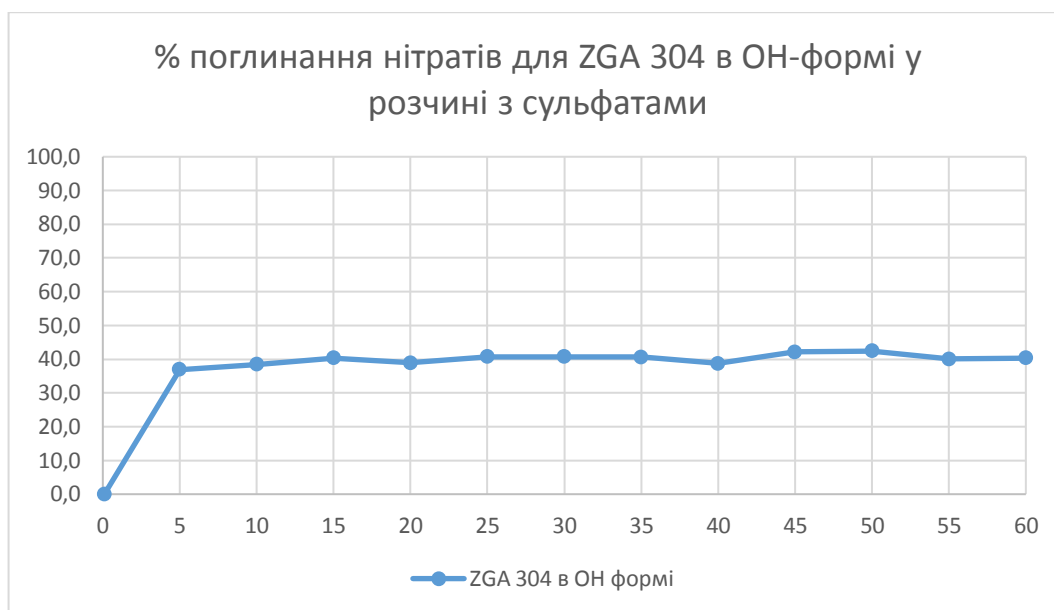


Рисунок 4.20 – Зміна концентрації нітратів у розчині з сульфатами

Розрахунок поглинання нітратів у розчині з сульфатами для ZGA 304 в ОН-формі.

Початкові кількості іонів, ммоль:

$$\nu_0(NO_3^-) = \frac{C_0(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{500}{62} \cdot 0,5 = 4,03 \text{ ммоль.}$$

За даними з графіку кінцева концентрація нітрат іонів становить $C(NO_3^-) = 298 \text{ мг/л}$. Тоді визначимо кількість нітрат іонів, що залишилися у розчині:

$$\nu(NO_3^-) = \frac{C(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{298}{62} \cdot 0,5 = 2,4 \text{ ммоль.}$$

Визначимо кількість нітрат іонів, що було поглинуто іонітом:

$$\nu_{\Pi}(NO_3^-) = \nu_0(NO_3^-) - \nu(NO_3^-) = 4,03 - 2,4 = 1,63 \text{ ммоль.}$$

Початкова кількість сульфат іонів:

$$\nu_0(SO_4^{2-}) = \frac{C_0(SO_4^{2-})}{\frac{1}{2}M(SO_4^{2-})} V = \frac{500}{48} \cdot 0,5 = 5,21 \text{ ммоль-екв.}$$

Розрахуємо вміст сульфатів, що залишилися у розчині:

$$C(SO_4^{2-}) = \frac{(V - V_1) \cdot 96 \cdot c}{V_2} = \frac{(30 - 25) \cdot 96 \cdot 25}{50} = 240 \text{ мг/л.}$$

Визначимо кількість іонів сульфату у досліджуваному розчині:

$$\nu(SO_4^{2-}) = \frac{C(SO_4^{2-})}{\frac{1}{2}M(SO_4^{2-})} V = \frac{240}{48} \cdot 0,5 = 2,50 \text{ ммоль-екв.}$$

Визначимо кількість іонів сульфатів, що було поглинуто:

$$\nu_{\text{п}}(SO_4^{2-}) = \nu_0(SO_4^{2-}) - \nu(SO_4^{2-}) = 5,21 - 2,50 = 2,71 \text{ ммоль-екв.}$$

Результати розрахунку представлено в таблиці 4.29

Таблиця 4.29 – Результати розрахунку для аніоніту ZGA 304 в ОН-формі

Іон	Вихідна концентрація		Концентрація після 60 хв		Різниця концентрацій	
	мг/л	ммоль-екв/л	мг/л	ммоль-екв/л	мг/л	ммоль-екв/л
NO ₃ ⁻	500	8,06	298	4,81	202	3,25
SO ₄ ²⁻	500	10,41	240	5,21	260	5,20
Кількість речовини у 0,5 л розчину						
	Вихідна кількість	Утворилося речовини	Кінцева кількість	Поглинуто		
	ммоль-екв	ммоль-екв	ммоль-екв	ммоль-екв		
NO ₃ ⁻	4,03	-	2,40	1,63		
SO ₄ ²⁻	5,21	-	2,50	2,71		

Результат дослідження для ZGD 890 в ОН-формі представлено у таблиці 4.30.

Таблиця 4.30 – Зміна концентрації нітратів у розчині з гідрокарбонатами для ZGD 890 в ОН-формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,622	-0,047	0,669	100
10	0,528	-0,042	0,570	100
15	0,421	-0,048	0,469	100
20	0,390	-0,047	0,437	100
25	0,372	-0,043	0,415	100
30	0,371	-0,045	0,416	100
35	0,376	-0,044	0,420	100
40	0,343	-0,043	0,386	100
45	0,357	-0,041	0,398	100
50	0,366	-0,045	0,411	100
55	0,326	-0,047	0,373	100
60	0,336	-0,043	0,379	100

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,669}{0,2274} \cdot 100 = 294 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,570}{0,2274} \cdot 100 = 251 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,469}{0,2274} \cdot 100 = 206 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,437}{0,2274} \cdot 100 = 192 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,415}{0,2274} \cdot 100 = 182 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,416}{0,2274} \cdot 100 = 182 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,420}{0,2274} \cdot 100 = 185 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,386}{0,2274} \cdot 100 = 170 \text{ мг/л};$$

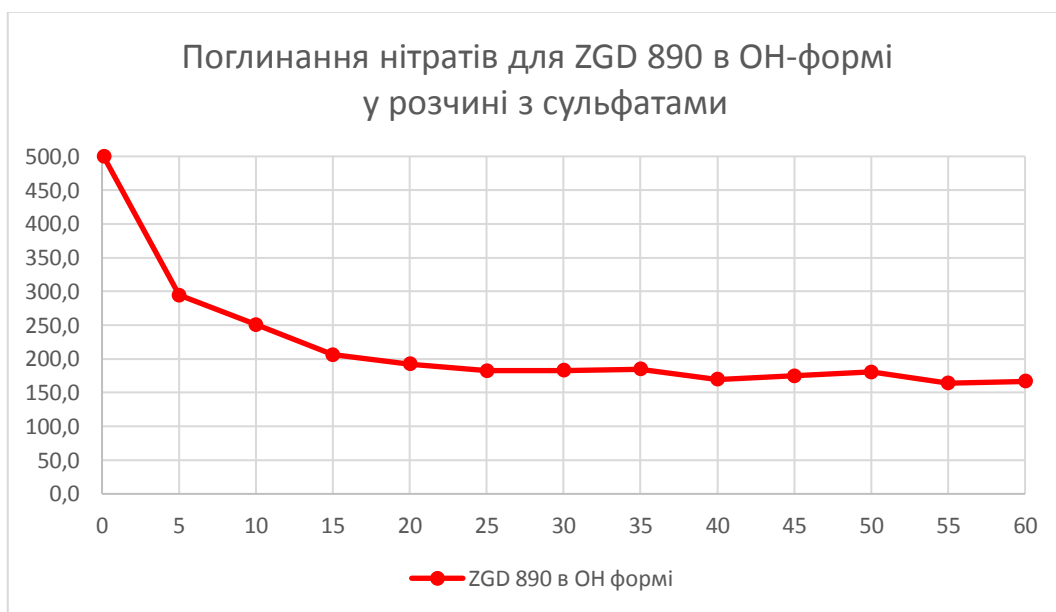
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,398}{0,2274} \cdot 100 = 175 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,411}{0,2274} \cdot 100 = 181 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,373}{0,2274} \cdot 100 = 164 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,379}{0,2274} \cdot 100 = 168 \text{ мг/л};$$

За даними з розрахунків побудували графік зміни концентрації з часом та графік % поглинання які представлені на рисунку 4.21.



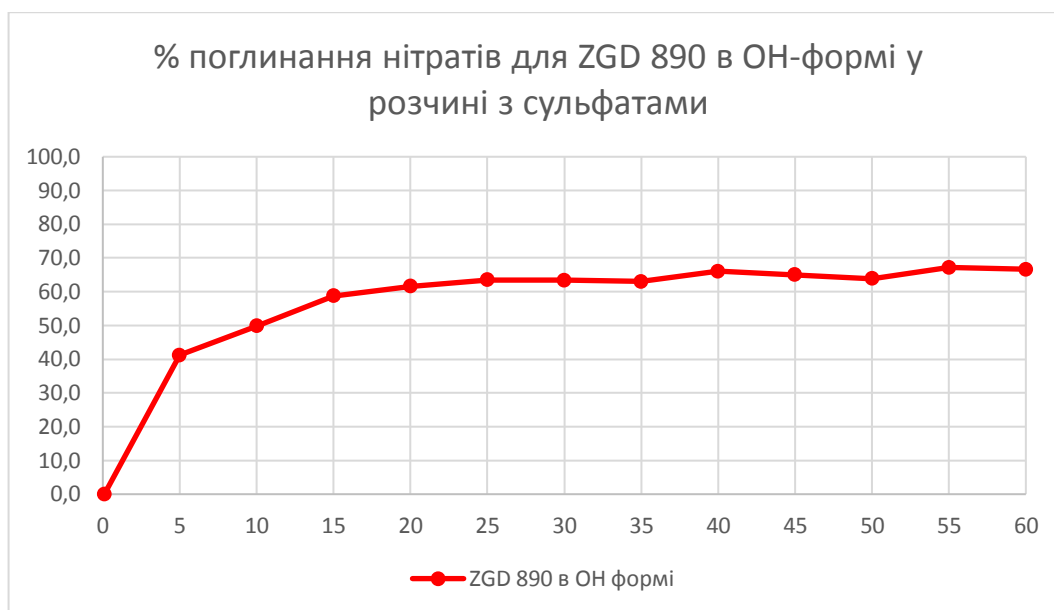


Рисунок 4.21 – Зміна концентрації нітратів у розчині з сульфатами для ZGD 890 в ОН-формі

Розрахунок поглинання нітратів у розчині з сульфатами для ZGD 890 в ОН-формі.

Початкові кількості іонів, ммоль:

$$\nu_0(NO_3^-) = \frac{C_0(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{500}{62} \cdot 0,5 = 4,03 \text{ ммоль-екв.}$$

За даними з графіку кінцева концентрація нітрат іонів становить $C(NO_3^-) = 167 \text{ мг/л}$. Тоді визначимо кількість нітрат іонів, що залишилися у розчині:

$$\nu(NO_3^-) = \frac{C(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{167}{62} \cdot 0,5 = 1,35 \text{ ммоль-екв.}$$

Визначимо кількість нітрат іонів, що було поглинуто іонітом:

$$\nu_{\text{п}}(NO_3^-) = \nu_0(NO_3^-) - \nu(NO_3^-) = 4,03 - 1,35 = 2,68 \text{ ммоль-екв.}$$

Початкова кількість сульфат іонів:

$$\nu_0(SO_4^{2-}) = \frac{C_0(SO_4^{2-})}{\frac{1}{2}M(SO_4^{2-})} V = \frac{500}{48} \cdot 0,5 = 5,21 \text{ ммоль-екв.}$$

Розрахуємо вміст сульфатів, що залишилися у розчині:

$$C(SO_4^{2-}) = \frac{(V - V_1) \cdot 96 \cdot c}{V_2} = \frac{(30 - 22,7) \cdot 96 \cdot 25}{50} = 350 \text{ мг/л.}$$

Визначимо кількість іонів сульфату у досліджуваному розчині:

$$\nu(SO_4^{2-}) = \frac{C(SO_4^{2-})}{\frac{1}{2}M(SO_4^{2-})} V = \frac{350}{48} \cdot 0,5 = 3,65 \text{ ммоль-екв.}$$

Визначимо кількість іонів сульфатів, що було поглинуто:

$$\nu_{\text{п}}(SO_4^{2-}) = \nu_0(SO_4^{2-}) - \nu(SO_4^{2-}) = 5,21 - 3,65 = 1,56 \text{ ммоль-екв.}$$

Результат дослідження приведено в таблиці 4.31.

Таблиця 4.31 – Результати розрахунку для аніоніту ZGD 890 в ОН-формі

Іон	Вихідна концентрація		Концентрація після 60 хв		Різниця концентрацій	
	мг/л	ммоль-екв/л	мг/л	ммоль-екв/л	мг/л	Ммоль-екв/л
NO ₃ ⁻	500	8,06	167	2,69	253	5,37
SO ₄ ²⁻	500	10,41	350	7,30	150	3,11
Кількість речовини у 0,5 л розчину						
	Вихідна кількість	Утворилося речовини	Кінцева кількість	Поглинуто		
	ммоль-екв	ммоль-екв	ммоль-екв	ммоль-екв		
NO ₃ ⁻	4,03	-	1,35	2,68		
SO ₄ ²⁻	5,21	-	3,65	1,56		

Результат дослідження для ZGA 304 в Cl-формі представлено у таблиці 4.32.

Таблиця 4.32 – Зміна концентрації нітратів у розчині з гідрокарбонатами для ZGA 304 в Cl-формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,672	-0,040	0,712	100
10	0,648	-0,047	0,695	100
15	0,708	-0,043	0,751	100
20	0,670	-0,045	0,715	100
25	0,657	-0,048	0,705	100
30	0,670	-0,044	0,714	100
35	0,701	-0,045	0,746	100
40	0,707	-0,045	0,752	100
45	0,672	-0,040	0,712	100
50	0,699	-0,043	0,742	100
55	0,640	-0,045	0,685	100
60	0,702	-0,047	0,749	100

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,712}{0,2274} \cdot 100 = 294 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,695}{0,2274} \cdot 100 = 251 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,751}{0,2274} \cdot 100 = 206 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,715}{0,2274} \cdot 100 = 192 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,705}{0,2274} \cdot 100 = 182 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,714}{0,2274} \cdot 100 = 182 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,746}{0,2274} \cdot 100 = 185 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,752}{0,2274} \cdot 100 = 170 \text{ мг/л};$$

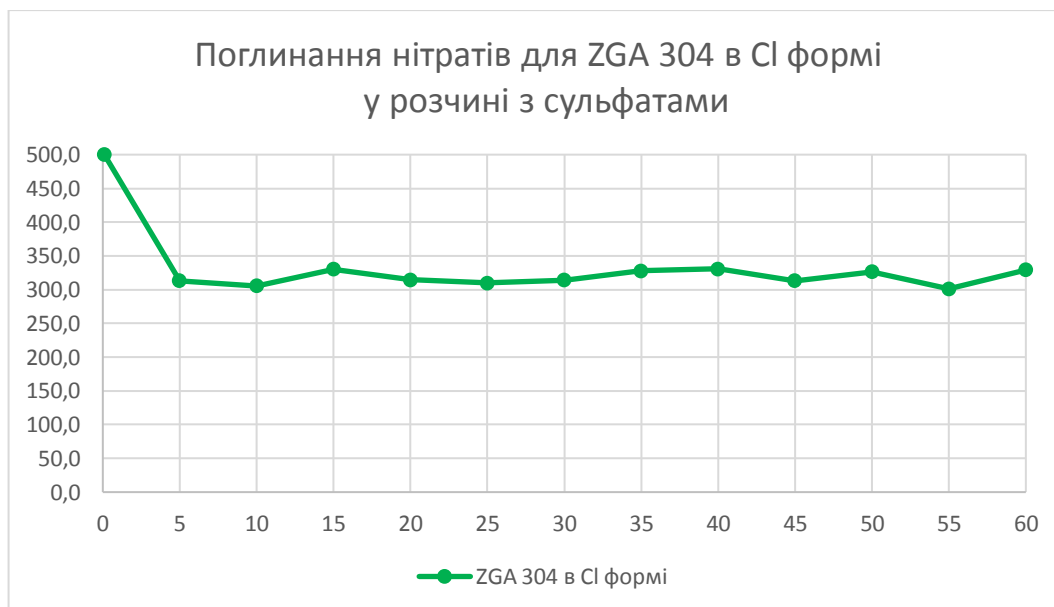
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,712}{0,2274} \cdot 100 = 175 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,742}{0,2274} \cdot 100 = 181 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,685}{0,2274} \cdot 100 = 164 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,749}{0,2274} \cdot 100 = 168 \text{ мг/л};$$

За даними з розрахунків побудували графік зміни концентрації з часом та графік % поглинання які представлені на рисунку 4.22.



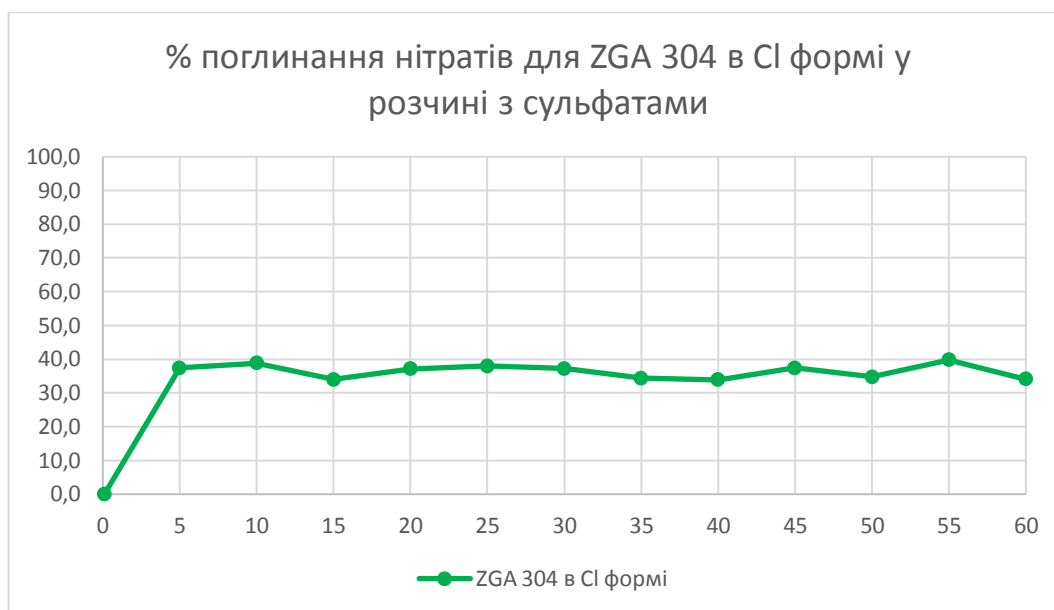


Рисунок 4.22 – Зміна концентрації нітратів у розчині з сульфатами для ZGA 304 в Cl-формі

Розрахунок поглинання нітратів у розчині з сульфатами для ZGA 304 в Cl-формі.

Початкові кількості іонів, ммоль:

$$\nu_0(NO_3^-) = \frac{C_0(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{500}{62} \cdot 0,5 = 4,03 \text{ ммоль-екв.}$$

За даними з графіку кінцева концентрація нітрат іонів становить $C(NO_3^-) = 329 \text{ мг/л}$. Тоді визначимо кількість нітрат іонів, що залишилися у розчині:

$$\nu(NO_3^-) = \frac{C(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{329}{62} \cdot 0,5 = 2,65 \text{ ммоль-екв.}$$

Визначимо кількість нітрат іонів, що було поглинуто іонітом:

$$\nu_{\Pi}(NO_3^-) = \nu_0(NO_3^-) - \nu(NO_3^-) = 4,03 - 2,65 = 1,38 \text{ ммоль-екв.}$$

Початкова кількість сульфат іонів:

$$\nu_0(SO_4^{2-}) = \frac{C_0(SO_4^{2-})}{\frac{1}{2}M(SO_4^{2-})} V = \frac{500}{48} \cdot 0,5 = 5,21 \text{ ммоль-екв.}$$

Розрахуємо вміст сульфатів, що залишилися у розчині:

$$C(SO_4^{2-}) = \frac{(V - V_1) \cdot 96 \cdot c}{V_2} = \frac{(30 - 24) \cdot 96 \cdot 25}{50} = 288 \text{ мг/л.}$$

Визначимо кількість іонів сульфату у досліджуваному розчині:

$$\nu(SO_4^{2-}) = \frac{C(SO_4^{2-})}{\frac{1}{2}M(SO_4^{2-})} V = \frac{288}{48} \cdot 0,5 = 3,00 \text{ ммоль-екв/л.}$$

Визначимо кількість іонів сульфатів, що було поглинуто:

$$\nu_{\text{п}}(SO_4^{2-}) = \nu_0(SO_4^{2-}) - \nu(SO_4^{2-}) = 5,21 - 3,00 = 2,21 \text{ ммоль-екв.}$$

Результати розрахунку представлено в таблиці 4.33

Таблиця 4.33 – Результати розрахунку для аніоніту ZGA 304 в Cl-формі

Іон	Вихідна концентрація		Концентрація після 60 хв		Різниця концентрацій	
	мг/л	ммоль-екв/л	мг/л	ммоль-екв/л	мг/л	ммоль-екв/л
NO ₃ ⁻	500	8,06	329	5,30	171	2,76
SO ₄ ²⁻	500	10,41	288	6,00	212	4,41
Кількість речовини у 0,5 л розчину						
	Вихідна кількість	Утворилося речовини	Кінцева кількість	Поглинуто		
	ммоль-екв	ммоль-екв	ммоль-екв	ммоль-екв		
NO ₃ ⁻	4,03	-	2,65	1,38		
SO ₄ ²⁻	5,21	-	3,00	2,21		

Результат дослідження для ZGD 890 в Cl-формі представлено у таблиці 4.30.

Таблиця 4.34 – Зміна концентрації нітратів у розчині з гідрокарбонатами для ZGA 304 в Cl-формі

τ, хв	A ₁ при 220 нм	A ₂ при 275 нм	A ₁ – A ₂	Кратність розбавлення
5	0,883	-0,003	0,886	100
10	0,736	-0,000	0,736	100
15	0,693	-0,006	0,699	100
20	0,633	0,000	0,633	100
25	0,598	-0,016	0,614	100
30	0,572	-0,017	0,589	100
35	0,547	-0,017	0,564	100
40	0,561	-0,015	0,576	100
45	0,523	-0,012	0,535	100
50	0,588	-0,014	0,602	100
55	0,557	-0,009	0,566	100
60	0,549	-0,012	0,561	100

Розраховували концентрацію нітратів у розчині:

$$C_{NO_3}^5 = \frac{0,886}{0,2274} \cdot 100 = 390 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{10} = \frac{0,736}{0,2274} \cdot 100 = 324 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{15} = \frac{0,699}{0,2274} \cdot 100 = 307 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{20} = \frac{0,633}{0,2274} \cdot 100 = 278 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{25} = \frac{0,614}{0,2274} \cdot 100 = 270 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{30} = \frac{0,589}{0,2274} \cdot 100 = 259 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{35} = \frac{0,564}{0,2274} \cdot 100 = 248 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{40} = \frac{0,576}{0,2274} \cdot 100 = 253 \text{ мг/л};$$

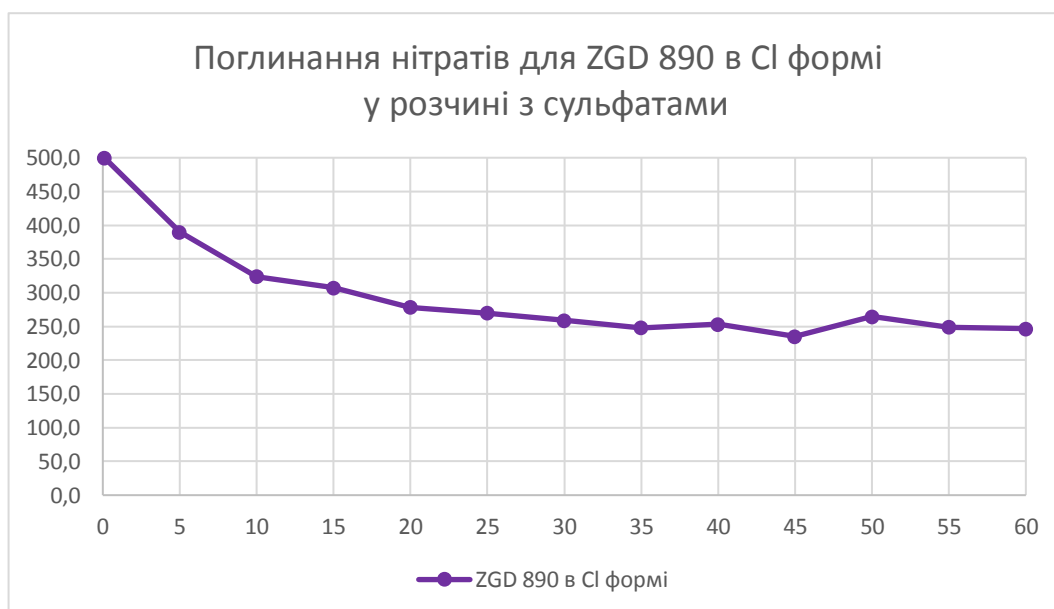
$$C_{NO_3}^{45} = \frac{0,535}{0,2274} \cdot 100 = 235 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{50} = \frac{0,602}{0,2274} \cdot 100 = 265 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{55} = \frac{0,566}{0,2274} \cdot 100 = 249 \text{ мг/л};$$

$$C_{NO_3}^{60} = \frac{0,561}{0,2274} \cdot 100 = 248 \text{ мг/л};$$

За даними з розрахунків побудували графік зміни концентрації з часом та графік % поглинання які представлені на рисунку 4.23.



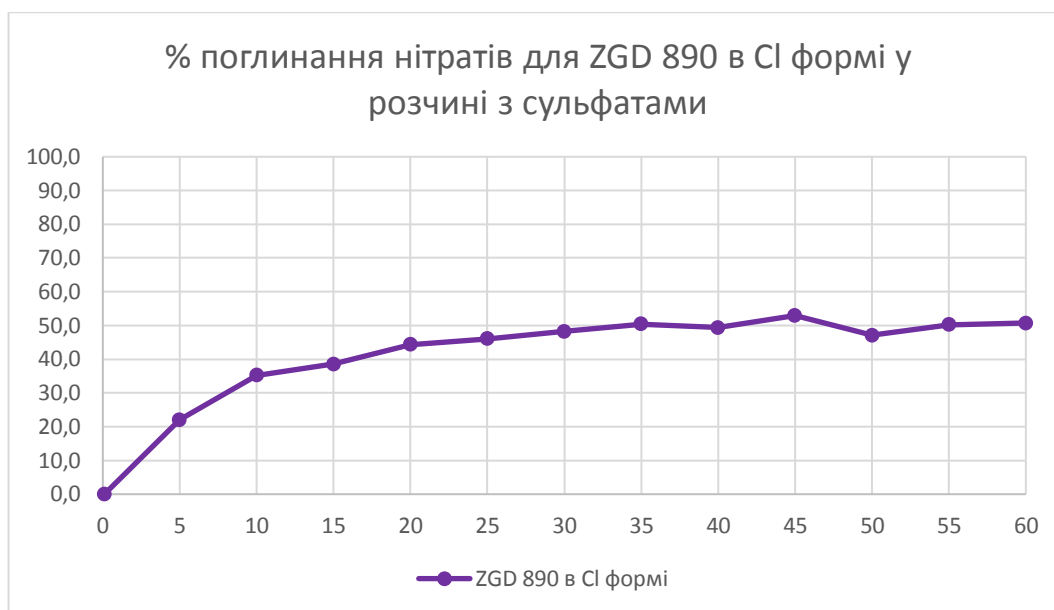


Рисунок 4.23 – Зміна концентрації нітратів у розчині з сульфатами для ZGD 890 в Cl-формі

Розрахунок поглинання нітратів у розчині з сульфатами для ZGD 890 в Cl-формі.

Початкові кількості іонів, ммоль:

$$\nu_0(NO_3^-) = \frac{C_0(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{500}{62} \cdot 0,5 = 4,03 \text{ ммоль-екв.}$$

За даними з графіку кінцева концентрація нітрат іонів становить $C(NO_3^-) = 247 \text{ мг/л}$. Тоді визначимо кількість нітрат іонів, що залишилися у розчині:

$$\nu(NO_3^-) = \frac{C(NO_3^-)}{M(NO_3^-)} V = \frac{247}{62} \cdot 0,5 = 1,99 \text{ ммоль-екв.}$$

Визначимо кількість нітрат іонів, що було поглинуто іонітом:

$$\nu_{\Pi}(NO_3^-) = \nu_0(NO_3^-) - \nu(NO_3^-) = 4,03 - 1,99 = 2,04 \text{ ммоль-екв.}$$

Початкова кількість сульфат іонів:

$$\nu_0(SO_4^{2-}) = \frac{C_0(SO_4^{2-})}{\frac{1}{2}M(SO_4^{2-})} V = \frac{500}{48} \cdot 0,5 = 10,41 \text{ ммоль-екв.}$$

Розрахуємо вміст сульфатів, що залишилися у розчині:

$$C(SO_4^{2-}) = \frac{(V - V_1) \cdot 96 \cdot c}{V_2} = \frac{(30 - 22,7) \cdot 96 \cdot 25}{50} = 350 \text{ мг/л.}$$

Визначимо кількість іонів сульфату у досліджуваному розчині:

$$\nu(SO_4^{2-}) = \frac{C(SO_4^{2-})}{\frac{1}{2}M(SO_4^{2-})} V = \frac{350}{48} \cdot 0,5 = 3,65 \text{ ммоль-екв.}$$

Визначимо кількість іонів сульфатів, що було поглинуто:

$$\nu_{\text{п}}(SO_4^{2-}) = \nu_0(SO_4^{2-}) - \nu(SO_4^{2-}) = 10,41 - 3,65 = 6,76 \text{ ммоль-екв.}$$

Результат розрахунку представлено в таблиці 4.35.

Таблиця 4.35 – Результати розрахунку для аніоніту ZGD 890 в Cl-формі

Іон	Вихідна концентрація		Концентрація після 60 хв		Різниця концентрацій	
	мг/л	ммоль-екв/л	мг/л	ммоль-екв/л	мг/л	ммоль-екв/л
NO ₃ ⁻	500	8,06	247	3,98	253	4,08
SO ₄ ²⁻	500	10,41	350	7,29	150	3,12
Кількість речовини у 0,5 л розчину						
	Вихідна кількість	Утворилося речовини	Кінцева кількість	Поглинуто		
	ммоль-екв	ммоль-екв	ммоль-екв	ммоль-екв		
NO ₃ ⁻	4,03	-	2,65	2,04		
SO ₄ ²⁻	5,21	-	3,65	1,56		

Графік порівняння здатності поглинання нітратів в розчині з сульфатами представлено на рисунку 4.24.

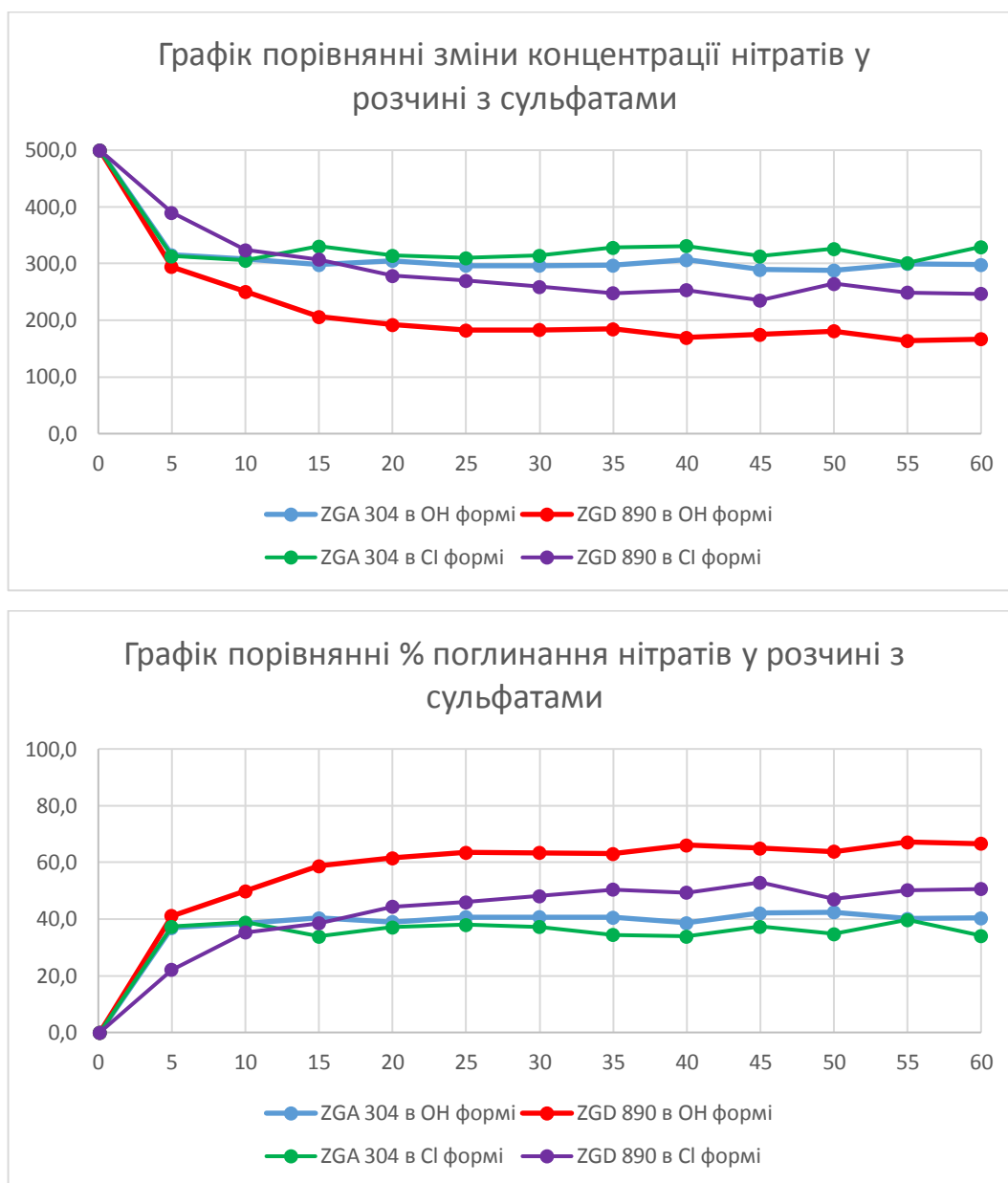


Рисунок 4.24 – Порівняння здатності поглинання нітратів у розчині з сульфатами

За результатами дослідження найбільше поглинав нітрати у розчині з сульфатами макропористий сильноосновний аніоніт ZGD 890 який перебуває в ОН формі. Через 60 хвилин концентрація нітратів становила 167 мг/л, тобто іоніт поглинув 67% нітратів у розчині. Менше за всіх нітрати поглинає аніоніт

ZGA 304 як в ОН-формі так і в Cl-формі. Як видно з рисунку 4.24 у розчині з сульфатами вже через 30 хвилин у розчині наступає рівновага.

На основі проведеного дослідження побудували таблицю для порівняння здатності поглинання нітратів у розчині з сульфатами і без них. Дані приведені в таблиці 4.36.

Таблиця 4.36 – % поглинання нітратів у розчині з SO_4 і без них

Іоніт	Кінцевий ступень поглинання нітратів у розчині без SO_4 , %	Кінцевий ступень поглинання нітратів у розчині з SO_4 , %	Зміна % поглинання у присутності SO_4 , %
ZGA 304 в ОН-формі	73,1	40,4	32,7
ZGD 890 в ОН-формі	80,9	66,7	14,2
ZGA 304 в Cl-формі	61,7	34,1	27,6
ZGD 890 в Cl-формі	60,3	50,7	9,6

За отриманими даними, встановили, що % поглинання нітратів у розчині з сульфатами по закінченню дослідження буде меншим у порівнянні з поглинанням нітратів у розчині без сульфатів. Найбільше вони заважають поглинанню нітратів сильноосновному аніоніту, в ОН-формі ZGA 304. Різниця % поглинання буде більше 32%, що значно більша у порівнянні з нітрат селективною смолою ZGD 890, для якої кінцева різниця поглинання становила 14,2% для ОН форми. Для іонітів у Cl-формі сульфати так само заважають поглинанню нітратів.

Дані для порівняння здатності поглинання нітратів у розчині з сульфатами представлено в таблиці 4.37.

Таблиця 4.37 – Концентрація та ступень поглинання нітратів при $\tau = 60$ хвилин та $C_{0NO_3} = 500$ мг/л та $C_{0HCO_3} = 500$ мг/л

Смола	Початкова концентрація, мг/л		Кінцева концентрація, мг/л		Поглинуто, ммоль	
	NO ₃	SO ₄	NO ₃	SO ₄	NO ₃	SO ₄
ZGA 304 в OH формі	500	500	298	240	1,63	2,71
ZGD 890 в OH формі	500	500	167	350	2,68	1,56
ZGA 304 в Cl-формі	500	500	329	288	1,38	2,21
ZGD 890 в Cl-формі	500	500	247	350	2,04	1,56

За результатами розрахунків встановили, що незважаючи на велику кількість сульфатів в розчині, нітрати добре поглинає макропористий аніоніт ZGD 890 в OH формі. Він поглинає майже в 2 рази більше нітратів ніж сильноосновний аніоніт ZGA 304. Але, ZGA 304 поглинає сульфати в 2 рази більше за макропористий аніоніт ZGD 890.

ВИСНОВКИ

1. Проведено літературний огляд методів очищення води від нітратів. У результаті якого встановили, що найефективнішим та найпростішим є метод іонного обміну.

2. Розглянуто фізико-хімічні основи процесу іонного обміну.

3. Наведено стандартні методики визначення характеристик іонітів, та обрано методи визначення концентрацій нітратів, гідрокарбонатів та сульфатів у воді.

4. Проведено підготовку двох сильноосновних аніонітів (ZGA 304 та ZGD 890). Визначено їх основні характеристики: вміст вологи, статичну та динамічну обмінні ємності.

5. Експериментально досліджено здатність поглинання нітратів аніонітами. При $C_{0NO_3} = 100$ мг/л вже через 60 хвилин в системі встановлюється рівновага, за якої концентрація нітратів становить не більше 11.5 мг/л, а ступінь поглинання не менше 88% для аніонітів.

6. Дослідження кінетики поглинання нітратів при $C_{0NO_3} = 500$ мг/л і $\tau = 60$ хвилин показали, що максимальний ступінь поглинання має аніоніт ZGD 890 в OH-формі (80%). Ступінь поглинання аніонітів у Cl-формі становив близько 60%.

7. Досліджено вплив гідрокарбонатів на ефективність поглинання нітратів іонітами. Експериментально встановили, що найбільше знижується поглинальна здатність нітратів для сильноосновного аніоніту ZGA 304 в OH-формі (17%). В інших зразках аніонітів поглинальна здатність зменшується на 3-4%. Визначено, що у присутності гідрокарбонатів найбільше поглинає нітрата макропористий аніоніт ZGD 890 в OH-формі, і у порівнянні з іншими зразками він не поглинав гідрокарбонати.

8. Досліджено вплив сульфатів на ефективність поглинання нітратів іонітами. Встановлено, що найбільше сульфати впливають на сильноосновний аніоніт ZGA 304 як в OH- так і в Cl-формі. Для нього поглинальна здатність

зменшується на 27-33%. Для макропористого аніоніту ZGD 890 поглинальна здатність зменшується на 9-14%. Експериментально встановлено, що макропористий аніоніт ZGD 890 поглинає майже в 2 рази більше нітратів ніж сильноосновний аніоніт ZGA 304. Також встановлено, що макропористий аніоніт ZGD 890 поглинає сульфати в 2 рази менше у порівнянні з сильноосновним аніонітом ZGA 304.

9. З проведених досліджень встановлено, що краще з усіх зразків поглинає нітрати макропористий аніоніт ZGD 890 в ОН-формі. У порівнянні з сильноосновним аніонітом ZGA 304 він поглинає значно більшу кількість нітратів у розчинах, в яких присутні гідрокарбонати та сульфати.

Результати проведених досліджень можуть бути використанні для подальшої розробки іонообмінних фільтрів на основі досліджених смол.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования – М.: ДеЛи принт, 2004. – 328 с.
2. Гребенюк В.Д., Мазо А.А. Обессоливание воды ионитами. – М.: Химия, 1980 г. – 256 с., ил.
3. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
4. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л. «Химия», 1977. 464 с.
5. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. – М.: ООО «БАСТЕТ», – 2008. – 304 с.
6. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. М. Издательство МГУ, 1996 г. 680 с; 178 ил.
7. T. Nur, W. G. Shim, P. Loganathan, S. Vigneswaran, J. Kandasamy. Nitrate removal using Purolite A520E ion exchange resin: batch and fixed-bed column adsorption modelling. Int. J. Environ. Sci. Technol. (2015) 12:1311–1320.
8. Inbal Fux, Liat Birnhack, Samuel C. N. Tang and Ori Lahav. Removal of Nitrate from Drinking Water by Ion-Exchange Followed by nZVI-Based Reduction and Electrooxidation of the Ammonia Product to N₂(g). Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa 32000, Israel. May 2014.
9. Anca Ceica, Laura Bulgariu, Liliana Lazăr, Igor Crețescu, Ion Balasanian. INFLUENCE OF SOME PARAMETERS ON NITRATE REMOVAL FROM WATER BY PUROLITE A-520E RESIN. October 2011, Vol.10, No. 10, 1553-1559.

10. Yue Sun, Weisheng Zheng, Xinchun Ding, Rajendra P Singh. Selective removal of nitrate using a novel asymmetric amine based strongly basic anion exchange resin. Adsorption Science & Technology 2020, Vol. 38(7–8) 271–285 The Author(s) 2020.
11. Raymond A. Wong, Yasuyuki Yokota, Mitsuru Wakisaka, Junji Inukai, Yousoo Kim. Probing consequences of anion-dictated electrochemistry on the electrode/monolayer/ electrolyte interfacial properties. 2020.
12. Li Yong-Sheng. Determination of Anion-Exchange Resin Performance Based on Facile Chloride-Ion Monitoring by FIA-Spectrophotometry with Applications to Water Treatment Operation. ANALYTICAL SCIENCES MAY 2004, VOL. 20.
13. Marija Nujić¹, Dragana Milinković, Mirna Habuda-Stanić. Nitrate removal from water by ion exchange. Croat. J. Food Sci. Technol. (2017) 9 (2) 182 – 186.
14. Standard Test Method for Anion-Cation Balance of Mixed Bed Ion-Exchange Resins¹. Designation: D 4548 – 91 (Reapproved 2002).
15. Puji Kurniawati, Reny Gusrianti, Bledug Bernanti Dwisiwi, et al. Verification of spectrophotometric method for nitrate analysis in water samples. December 2017.
16. ГОСТ 10896 – 78. Иониты. Подготовка к испытанию. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, Москва.
17. ГОСТ 20255.1 – 89. Иониты. Метод определения статической обменной емкости. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, Москва.
18. ГОСТ 20255.2 – 89. Иониты. Метод определения динамической обменной емкости. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, Москва.
19. ГОСТ 10898.1 – 84. Иониты. Методы определения влаги. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, Москва.
20. ГОСТ 33045 – 2014. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. Москва, Стандартиформ.

- 21.ГОСТ 31940 – 2012. Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. Москва, Стандартинформ.
22. ГОСТ 31957 – 2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Москва, Стандартинформ.

ДОДАТОК А

Роботу можна виконувати тільки в тому випадку, якщо всі її етапи зрозумілі і не викликають ніяких непорозумінь. Якщо ж щось неясно, слід швидко звернутися до викладача. Перед виконанням незнайомих операцій, а також перед роботою з новими речовинами слід отримати індивідуальний інструктаж.

Під час роботи у хімічній лабораторії слід знати і неухильно виконувати встановлені правила, а саме:

- . Перш, ніж почати роботу, уважно прочитати інструкцію щодо її виконання, ознайомитися, що всі електричні прилади, які містяться на столах та заземлені.
- . Переконатися в цілісності електропроводки та підвідного шнура.
- . Робоче місце утримувати в чистоті та порядку, не захащуючи його сторонніми предметами.
- . Не допускати потрапляння хімічних реактивів на шкіру та одяг.
- . Реактиви загального використання не забирати на свої робочі місця. Якщо вказівки з дозування реактивів для певного досліду відсутні, то використовувати їх у мінімальній кількості.
- . В усіх дослідах використовувати тільки дистильовану воду.
- . Не плутати пробки від склянок з різними реактивами.
- . Сухі реактиви брати тільки чистим шпателем.
- . Невикористанні реактиви не висипати і не зливати до тих склянок, звідки їх було взято.
- . Використовувати реактиви без етикеток або із сумнівними етикетками суворо заборонено.
- . Досліди з вогненебезпечними і легкозаймистими речовинами не проводити поруч з відкритим вогнем.
- . Особливо бути обережними під час роботи з отруйними та шкідливими речовинами, концентрованими кислотами та лугами. Роботи з

ними слід проводити у витяжній шафі, вікна якої повинні бути відчинені не більш як на одну третину.

- Під час нагрівання або кип'ятіння рідини (особливо з осадом), щоб уникнути розбризкування, нагрівати верхню частину пробірки, тримаючи її отвором від себе та тих, хто працює поруч.

- Під час нещасних випадків відразу звертатися до викладача або лаборанта.

- Відходи, що виникають під час роботи, не можна викидати в корзини для сміття або змивати у каналізацію. Відпрацьовані розчини сірчаної кислоти слід зливати в посудину, яка міститься у витяжній шафі. Якщо розведені кислоти та луги виливаються до раковини, слід пускати сильний струмінь води. Органічні розчинники збирають до спеціально виділених для них бутилів.

- Після закінчення роботи вимити посуд, прибрати робоче місце, прилади здати лаборанту.

- Усі співробітники лабораторії повинні володіти прийомами надання першої допомоги при нещасних випадках – вміти накладати пов'язки для зупинення кровотечі, проводити штучне дихання, непрямий масаж серця тощо. У кожному робочому приміщенні повинна бути повністю вкомплектовано аптечка першої допомоги. Склад аптечки залежить від характеру робіт, які виконуються у лабораторії, і повинен бути погоджений з лікарем. По мірі використання медикаментів аптечку слід швидко доповнювати.

- У лабораторних приміщеннях забороняється: працювати за умов несправної вентиляції; проводити будь-які роботи, не пов'язані з виконанням доручених завдань; курити, їсти; працювати без спецодягу; шуміти, голосно говорити, робити різкі рухи; працювати в лабораторії самому; залишати без догляду працюючі прилади, відкрите полум'я.

- Якщо потрібно ненадовго відлучитися від установки, яка працює, не слід залишати її без догляду.

Обладнання лабораторії починається з робочого столу, на якому проводиться вся експериментальна робота. У кожній лабораторії повинна бути хороша вентиляція, обов'язково витяжна шафа, в якій проводять усі роботи з використанням летких або отруйних сполук. У спеціальній витяжній шафі, в якій не проводять робіт, пов'язаних з нагріванням, зберігають леткі або шкідливі речовини (сірковуглець, ефіри, бензол тощо).

Необхідним у лабораторії є водопровід, каналізація, проводка технічного струму, водонагрівальні прилади. Бажано також мати підводку мати підводку стислого повітря, вакуум-лінію, підводку гарячої води та пари.

Лабораторія повинна мати прилад для дистиляції (демінералізації) води.

Поруч з робочими столами в лабораторії повинні бути високі табурети або стільці та письмовий стіл, де зберігаються всі зошити та записи; також потрібен титрувальний стіл.

Аналітичні терези і прилади, які потребують стаціонарного устаткування (електричні, оптичні та ін.), розміщують в окремому, пов'язаному з лабораторією приміщенні, до того ж для аналітичних терезів повинна бути виділена спеціальна вагова кімната. Бажано, щоб вагова була розміщена вікнами на північ. Це важливо тому, що на терези не повинне падати сонячне проміння.

У лабораторії треба мати необхідні довідкові книги, посібники та підручники, бажано також, щоб лабораторія була обладнана комп'ютером, який має вихід до мережі інтернет.

Зазвичай в хімічних лабораторіях працюють із солями, лугами, кислотами, фіксаналами, індикаторами, розчинниками та іншими реактивами. Необхідні для виконання лабораторних робіт реактиви розміщуються на полицях у скляних банках, колбах та іншому посуді, зазвичай із притертими пробками. Користуючись реактивами, слід дотримуватись наступних правил:

- брати мінімальну кількість реактиву, за винятком тих випадків, коли в описаному досліді вказана точна кількість його. Не розливати і не розсипати реактиви;

- лишки взятого реактиву не повертають у посуд, з якого він був взятий;
- користуючись реактивами, пробку від посуду кладуть на стіл тільки в перевернутому положенні або тримають у руці;
- не залишають склянки і банки з реактивами відкритими та негайно ставлять їх на місце;
- користуватися можна тільки тими реактивами, які мають етикетки та стоять на полиці свого робочого столу, за винятком особливих реактивів (концентровані кислоти, луги, реактиви з неприємним запахом тощо), які зазвичай містяться у витяжній шафі;
- якщо реактиву немає, звертатися до чергового лаборанта.

Щоб уберегти себе та інших від нещасного випадку потрібно сконцентрувати всю увагу на виконанні роботи та дотримуватись таких правил:

- наливаючи реактиви (особливо кислоти і луги), не слід нахилитись над отвором посуду, бо бризки можуть потрапити в обличчя і на руки працюючого або його сусіда. Якщо реактив потрапив на шкіру, слід негайно змити його водою і витерти це місце рушником. Якщо на шкіру потрапила концентрована кислота, то ушкоджене місце після обмивання водою змочити слабким розчином гідрокарбонатом натрію або аміаком. Якщо на шкіру потрапляють сильні луги, то змивають їх водою, а потім слабким розчином оцтової кислоти. При сильних опіках шкіру змащують концентрованим розчином калію перманганату, накладають пов'язку з марлі і негайно звертаються в медпункт;
- якщо кислота або луг потрапляють на одяг, слід негайно змочити уражене місце водою або протерти мокрою ганчіркою, а потім обробити в першому випадку розчином аміаку, в іншому – слабким розчином оцтової кислоти;
- під час збирання приладів і взагалі за умов роботи зі склом слід бути обережним. У випадку порізу рану промивають під струменем води, звільнюючи її від склад, потім змочують перекисом водню або настоянкою йоду та зав'язують бинтом. За значного порізу негайно звертатися в медпункт;

- знайомлячись із запахом газоподібних продуктів, не нахилятися близько до приладу і не втягувати сильно повітря, а тільки рухом руки направляти до себе повітря з домішками газу і робити короткий вдих;

- тривале перебування в приміщенні, де у повітрі є домішки шкідливих газів (сірководню, сірчистого газу, хлору, хлористого водню, окислів азоту тощо) навіть за умови слабкої концентрації може викликати отруєння. Тому всі дослід, які супроводжуються виділенням отруйних газів, проводити тільки у витяжній шафі з вентиляцією. Витяжна шафа повинна бути обладнана скляними дверцятами, які підіймаються на потрібну висоту лише в тому відділі шафи, де проводять дослід;

- усі роботи з легкогорючими речовинами (бензином, ефіром тощо) проводять подалі від вогню, у випадку займання гасять полум'я не водою, а піском або шматком щільної тканини.

Лабораторія за характером робіт, що в ній виконуються відноситься до І категорії.

Оптимальні умови повітряного середовища для нормально одягнених людей при тривалому їх перебуванні (більше 3 чоловік) у приміщенні по СН 245-71 та СНіП 11-33-75 наступні:

- в теплий період року температура повітря 22-25°C,
- відносна вологість 40-60%,
- швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с.

При роботі у приміщенні спостерігаються наступні виділення тепла:

1) Виділення тепла за рахунок освітлення:

$$Q_{OC} = n_{CB} \cdot P_{CB} \cdot \eta_{OC}, \text{ кВт} \quad (1.1)$$

де n_{CB} – кількість світильників (11 шт.);

P_{CB} – потужність одного світильника (0,08 кВт);

η_{OC} – для люмінесцентних ламп ($\eta_{OC} = 0,55$).

Тоді

$$Q_{OC} = 11 \cdot 0,08 \cdot 0,55 = 0,48 \text{ кВт.}$$

2) Виділення тепла від електричних приладів:

$$Q_{\text{ПР}} = N_{\text{ПР}} \cdot \eta_{\text{ПР}} \text{ кВт} \quad (1.2)$$

де $N_{\text{ПР}}$ – сумарна потужність електричних приладів ($N_{\text{ПР}} = 9,7 \text{ кВт}$);

$\eta_{\text{ПР}}$ – для електричних приладів ($\eta_{\text{ПР}} = 0,24$).

Тоді:

$$Q_{\text{ПР}} = 9,7 \cdot 0,24 = 2,328 \text{ кВт.}$$

3) Виділення тепла від людей, які перебувають у приміщенні:

$$Q_{\text{Л}} = 0,2n \text{ кВт.} \quad (1.3)$$

де n – кількість людей ($n = 15$).

Тоді

$$Q_{\text{Л}} = 0,2 \cdot 15 = 3,0 \text{ кВт.}$$

4) Надходження тепла через зовнішнє огороження в теплий період року за рахунок сонячної радіації через вікна:

$$Q_{\text{ЗО}} = F_0 \cdot \gamma_0 \cdot A_0 \cdot 10^{-3} \text{ кВт.} \quad (1.4)$$

де F_0 – поверхня скла ($F_0 = 20 \text{ м}^2$);

γ_0 – кількість тепла від сонячної радіації в залежності від сторін світу ($\gamma_0 = 210 \text{ Вт/м}^2$);

A_0 – коефіцієнт для вікон з подвійним склом ($A_0 = 1,15$).

Тоді

$$Q_{\text{ЗО}} = 20 \cdot 210 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3} = 4,83 \text{ кВт.}$$

5) Розраховуємо тепловий баланс для теплого періоду року без урахування втрат:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{Т}} &= \sum Q = Q_{\text{ОС}} + Q_{\text{ПР}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{ЗО}} = 0,48 + 2,328 + 3,0 + 4,83 = \\ &= 10,638 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

6) Визначаємо повітрообмін по боротьбі з надлишками тепла:

$$G_{HT} = \frac{\Delta Q_{HT}}{c \cdot \Delta t} \text{ кг/с} \quad (1.5)$$

де $\Delta Q_{HT} = \Delta Q_T$

c – теплоємність повітря ($c = 1,0 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$);

Δt – змінення температури в робочій зоні ($\Delta t = 3 \text{ }^\circ\text{C}$).

Тоді

$$G_{HT} = \frac{10,638}{1,0 \cdot 3} = 3,546 \text{ кг/с.}$$

7) Визначаємо повітрообмін по боротьбі з виділеннями вологи людей:

$$G_{в.л.} = g \cdot n \text{ кг/с.} \quad (1.6)$$

де g – кількість вологи, яка виділяється людиною ($g = 0,075 \text{ г/год.} = 0,0208 \text{ кг/с}$);

n - кількість людей ($n = 15$ чоловік).

Тоді

$$G_{в.л.} = 0,0208 \cdot 15 = 0,312 \text{ кг/с.}$$

8) Визначаємо повітрообмін з урахуванням вологості повітря, яке надходить до приміщення і видаляється з нього:

$$G = \frac{G_{в.л.}}{d_{в.} - d_{н.}} \quad (1.7)$$

де $d_{в.}$, $d_{н.}$ – вологість повітря, яке надходить до приміщення і видаляється з нього $d_{в.} - d_{н.} = 0,1$.

Тоді

$$G = \frac{0,312}{0,1} = 3,12 \text{ кг/с.}$$

Розрахунок кондиційованого повітря ведемо по найбільшому значенню повітрообміну $G = 3,12 \text{ кг/с.}$

9) Витрати повітря на вентиляцію складатимуть:

$$L = \frac{G}{\rho} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1.8)$$

де ρ – щільність повітря ($\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$).

Тоді

$$L = \frac{3,12}{1,2} = 2,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По цим витратам повітря вибираємо повітропровід та втрати тиску в ньому ($\Delta P = 200 \text{ Па}$).

Для підбору електродвигуна до вентилятора розраховуємо спочатку необхідну потужність на валу вентилятора:

$$N_B = \frac{273+t}{293 \cdot 1000 \cdot \eta} \cdot \Delta P \cdot L \text{ кВт}. \quad (1.9)$$

де η – ККД . вентилятора ($\eta = 0,9$);

t – робоча температура ($t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$).

Тоді

$$N_B = \frac{273+22}{293 \cdot 1000 \cdot 0,9} \cdot 200 \cdot 4,86 = 1,09 \text{ кВт}.$$

Тепер розраховуємо необхідну потужність електродвигуна вентилятора:

$$N_H = R \frac{N_B}{\eta_B} \text{ кВт}. \quad (1.10)$$

де R – коефіцієнт запасу ($R = 1,15$);

η_B – ККД з урахуванням втрат ($\eta_B = 0,9$),

Тоді:

$$N_H = 1,15 \frac{1,09}{0,9} = 1,4 \text{ кВт}.$$

Нашим потребам задовольняє центробіжний вентилятор типу ВЦ 4-70 № 5 (табл. 5.1)

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики деяких вентиляторів

Тип вентилятора	Потужність двигуна, кВт	Оберти двигуна, об/хв	Продуктивність вентилятора, тис. м ³ /год.	Повний тиск, Па
ВЦ 4-70-2,5	0,12	1500	0,45-0,85	170-110
	0,25	1500	0,4-0,9	177-128
	0,37	3000	0,85-1,65	490-300
	0,55	3000	0,85-1,75	720-450
	0,75	3000	0,85-1,7	800-540
ВЦ 4-70-3,15	0,12	1500	0,76-1,15	185-175
	0,18	1500	0,76-1,82	185-110
	0,25	1500	0,85-1,84	280-170
	0,37	1500	0,9-1,95	370-230
	1,1	3000	1,65-3,80	830-480
	1,5	3000	1,8-4,0	1200-680
	2,2	3000	1,7-4,0	1350-880
ВЦ 4-70-4	0,18	1000	1,4-2,6	175-199
	0,25	1000	1,4-2,7	210-120
	0,37	1000	1,3-2,7	270-180
	0,55	1500	2,3-4,0	480-314
	0,75	1500	2,2-4,1	500-300
ВЦ 4-70-4	1,1	1500	2,0-4,2	560-330
	4	3000	2,8-7,5	2060-1275
	5,5	3000	4,3-8,3	2200-1250
	7,5	3000	4,3-8,8	2850-1800

Продовження таблиці 5.1

Тип вентилятора	Потужність двигуна, кВт	Оберти двигуна, об/хв	Продуктивність вентилятора, тис. м³/год.	Повний тиск, Па
ВЦ 4-70-5	0,55	1000	2,75-4,1	340-315
	0,75	1000	2,75-5,6	340-215
	1,1	1000	3,0-5,7	460-315
	1,5	1500	4,5-5,3	700-680
	2,2	1500	4,3-5,6	810-500
	3	1500	4,2-8,5	810-620
ВЦ 4-70-6,3	1,1	1000	4,7-7,3	380-350
	1,5	1000	5,8-8,6	470-430
	2,2	1000	5,6-11,3	560-350
	3	1000	6,2-11,5	750-530
	4	1500	7,2-12,3	885-780
	5,5	1500	8,6-12,0	1320-1250
	7,5	1500	8,6-17,5	1320-800
	11	1500	9,5-17,8	1750-1200

Найбільшу небезпеку в пожежному відношенні являють легкогорючі (ЛГР), горючі рідини (ГР), горючі гази та речовини, які за певних умов можуть самозайматися, а також сильні окиснювачі.

ЛГР і ГР займають серед вогнебезпечних речовин важливе місце: вони широко використовуються в багатьох лабораторіях, їх пари навіть при кімнатній температурі легко утворюють з повітрям вогнебезпечні та вибухонебезпечні суміші. Максимально обережними слід бути при роботі з диетиловим ефіром. Його пари важчі за повітря і мають властивості розтікатися по поверхні столу. Тому присутність вогню, несправного електрообладнання тощо, навіть на відстані 3-5 м від місця роботи з ефіром

може призвести до його займання. Безпека роботи з ЛГР може бути лише за умов дотримання правил:

- не можна допускати попадання горючих парів в атмосферу. Забороняється проводити будь-які роботи з ЛГР поза витяжною шафою. При проведенні процесів, пов'язаних з їх нагріванням, слід користуватися ефективними водяними холодильниками. Необхідно суворо слідкувати, щоб ємності з ЛГР не опинились біля розігрітих предметів, не перебували під прямим сонячними променями;

- забороняється працювати з вогнебезпечними речовинами поблизу ввімкнених електричних приладів або працюючих пальників – для займання повітряно-газової суміші достатньо іскри, яка виникає при користуванні електричними вмикачами, тощо. ЛГР можна нагрівати за допомогою парів або гарячої води (воду для бані необхідно нагрівати подалі від ЛГР). Щоб уникнути випадкового використання іншими особами вогню або струму в небезпечному сусідстві з ЛГР, слід перед початком роботи з вогнебезпечними речовинами повідомити про це всіх працюючих в кімнаті;

- дуже важливо раніше вжити всіх можливих заходів, щоб наслідки аварії, якщо вона виникне, були мінімальними. Роботи, які пов'язані з використанням великою кількістю ЛГР, доцільно розбити на декілька операцій. Під прилади, які вміщують більш 0,5 л горючої рідини, розміщують кювету, щоб рідина не розлилась у випадку аварії. Присутність на робочому місці ємностей з ЛГР або інших горючих матеріалів у багато разів збільшує вірогідність виникнення великої пожежі в результаті навіть незначного полум'я. Найбільш небезпечні рідини, такі як діетиловий ефір або ацетон, забороняється зберігати в робочих кімнатах. У кінці зміни рештки рідин повинні бути винесені на склад з ЛГР або в спеціально відведене приміщення. Не дозволяється також використовувати для зберігання і перенесення ЛГР тонкостінні ємності;

- якщо випадково розіллється значна кількість горючих речовин, необхідно негайно знеструмити кімнату загальним рубильником, загасити

полум'я в усіх джерелах, а місця проливу засипати піском, який слід зібрати і винести в місце зливу відходів ЛГР.

Кожне робоче місце повинне бути забезпечено засобами пожежогасіння відповідно до існуючих норм. Обов'язкова наявність сухого піску, азбестової ковдри, пінного і вуглекислотного вогнегасників.

Використання пінних вогнегасників в лабораторних умовах неодмінно призводить до пошкодження обладнання, реактивів тощо і може принести більше шкоди, ніж саме загоряння. Тому пінні вогнегасники рекомендується застосовувати лише для гасіння великих осередків пожежі, коли інші засоби малоефективні.

Водою не можна гасити рідини, які з нею не змішуються, наприклад бензин, петролейний ефір, бензол, толуол та інші вуглеводні, а також такі, що активно реагують з нею, – лужні метали, карбід кальцію тощо.

Невеликі вогнища інколи легко ліквідувати, засипавши їх піском, накривши азбестовим покривалом або мокрою ганчіркою. Замість піску часто використовують сухі порошкові вогнегасники.

Найбільш доступними засобами вогнегасіння в умовах лабораторій є вуглекислотні вогнегасники. Діоксид вуглецю, що є в них, не містить води і не завдає шкоди обладнанню. Вуглекислотні вогнегасники досить зручні й ефективні для гасіння будь-яких спалахів та пожеж на невеликій площі. Ними не можна користуватися при загоранні одягу на людині.

При виникненні спалаху дуже важливо ліквідувати його із самого початку. Якщо це не вдалося зробити в перші декілька секунд і горіння підсилюється, слід негайно звернутися за допомогою до колег і викликати пожежну команду, не припиняючи боротьбу з вогнем. З ділянки загорання необхідно вилучити всі горючі матеріали, вимкнути вентиляцію, газ, нагрівальні прилади.

Під час загорання електричних приладів або проводки слід, у першу чергу, вимкнути струм загальним рубильником, потім загасити вогонь вуглекислотним вогнегасником або піском.