

Підвищення екологічної безпеки при підготовці питної води з використанням  
модифікованого кварцового завантаження фільтруючих матеріалів

Шифр «Модифікація фільтрантів»

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 Ефективність використання флокулянта в процесах очищення води.....	4
2 Вибір реагентів, використаних при проведенні дослідження.....	12
3 Методики виконання досліджень.....	16
4 Вплив часу модифікації фільтруючого завантаження швидкого фільтра на тривалість фільтроцикла.....	20
5 Вплив часу модифікації фільтруючого завантаження швидкого фільтра на мутність і забарвленість фільтрату.....	22
6 Технологічна схема очищення води.....	25
7 Економічна ефективність запропонованих рішень.....	26
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	29

## ВСТУП

Для очистки води від колоїдних та інших забруднень найбільшого поширення набула фізико-хімічна технологія, в якій процес фільтрування є останньою і основною стадією освітлення води і виконується на фільтрах із кварцовим завантаженням.

Особлива увага приділяється інтенсифікації процесу очищення природних вод, удосконалення технологій в розробках нових методів очистки води, а також впровадження ресурсозберігаючих технологій [1].

Серед методів і способів, що використовуються для інтенсифікації водообробки, найбільш перспективними є методи, пов'язані із застосуванням раціональних, технологічно обґрунтованих схем, модифікації існуючих і розробкою нових методів і конструкцій водоочисних апаратів.

В даній роботі розглянуто модифіковане кварцове завантаження флокулянтном ПАА. Він дозволяє інтенсифікувати процес освітлення води, зменшити витрати реагентів на 25–30% з отриманням очищеної води потрібної якості, скоротити кількість виробничих площ, необхідних для реагентного господарства очисних споруд, при цьому собівартість очистки води знижується на 20–25 %.

Розроблений метод очищення природних і стічних вод шляхом модифікації кварцового завантаження фільтра підтверджений патентом №118596 [2].

**Метою роботи** є науково-технологічне обґрунтування модифікації кварцового завантаження швидких фільтрів флокулянтном.

**Задачі** – підвищення якості очищення питної води, аналіз виконаних експериментальних досліджень щодо застосування модифікованого кварцового завантаження швидких фільтрів розчином флокулянта ПАА, інтенсифікація процесу освітлення води для зменшення витрат реагенту.

**Об'єкт дослідження** – процес очищення природних вод для господарсько-питних цілей з використанням модифікації кварцового завантаження швидких фільтрів.

**Предмет дослідження** – закономірності освітлення води на швидких фільтрах з використанням модифікованого кварцового завантаження флокулянтам ПАА.

**Методи дослідження.** Дослідження виконані в лабораторних умовах з використанням фізико-хімічних методів. Оцінку надійності і відтворення дослідних даних визначали в межах довірчого інтервалу.

## **1 Ефективність використання флокулянта в процесах очищення води**

Високомолекулярні флокулянти зазвичай поділяють на три групи: неорганічні полімери, речовини природного походження і найбільш широко застосовуються синтетичні органічні полімери [3, 4].

Флокулююча дія залежить від ряду факторів: природи і кількості полімеру, його молекулярної маси і заряду, умов введення реагенту, вмісту в системі дисперсної фази і електролітів.

Механізм дії флокулянтів заснований на наступних явищах:

- адсорбції молекул флокулянта на поверхні колоїдних частинок;
- ретикуляції (утворення сітчастої структури) молекул флокулянта;
- злипання колоїдних частинок за рахунок Ван-дер-Ваальсових сил.

При дії флокулянтів між колоїдними частинками утворюються тривимірні структури, здатні до більш швидкого і повного відділення від рідкої фази. Причиною виникнення таких структур є адсорбція макромолекул флокулянта на кількох частинках з утворенням між ними полімерних містків.

Найбільш поширеними флокулянтами при підготовці питної води є поліакриламід (ПАА) [5].

Зовнішній вигляд даного хімічного реагенту: жовтуваті або світло-коричневі гранули неправильної форми. Сучасні флокулянти – поліакриламідні – високоефективні, недорогі, водорозчинні хімічні реагенти (полімери з характеристиками поліелектролітів).

Вода, що надходить на водопровідні фільтри, містить в собі речовини різного ступеня дисперсності. Загальна концентрація цих речовин зазвичай невелика. Проте, вода повинна розглядатися як складна фізико-хімічна система. Ця система може бути одночасно віднесена до категорії істинних розчинів, так як у воді містяться речовини, дисперговані до розмірів іонів і молекул, до категорії колоїдних розчинів, так як вода містить колоїдні речовини, і до суспензій, бо в воді знаходяться і порівняно великі зважені частинки.

При фільтрації через товщу зернистого завантаження водопровідних фільтрів складу системи змінюється. Практично помітні зміни відносяться до змісту порівняно великих суспендованих частинок. Ця обставина дає право розглядати фільтрацію води на водопровідних фільтрах як фільтрацію суспензій. Відповідно до сучасної інтерпретації швидке фільтрування представляє фізико-хімічний процес, заснований на адгезії зважених і колоїдних домішок води до зерен фільтруючого матеріалу.

Рух води через фільтруюче завантаження водопровідних фільтрів є окремим випадком руху рідин через зернисті шари і закономірності цього руху повинні впливати із загальних законів гідродинаміки зернистих шарів. Ці питання досить повно висвітлені в роботах Д.М. Мінца, Л.С. Лейбензона, М.М. Павловського, С.А. Шуберта та іншими дослідниками [6-8].

Встановлено, що при фільтруванні води на швидких фільтрах ламінарний режим руху води [9].

Підвищення ефективності роботи фільтрів очисних споруд водопроводу в даний час здійснюється, в основному, наступними способами:

- 1) Застосуванням фільтруючих матеріалів з добре розвиненою питомою поверхнею зерен і великою пористістю завантаження;

- 2) Шляхом нанесення на зерна флокулянта ПАА, що збільшують позитивний заряд потенціалу поверхні;
- 3) Створенням фільтрів з багат шаровим або неоднорідно одношаровим завантаженням, для висококаламутних вод;
- 4) Удосконаленням збірно-розподільчих систем фільтрів, підвищення рівномірності розподілу промивної води площею фільтра, конструктивно здешевлюється, спрощується в монтажі;
- 5) Удосконалення технології промивки фільтрів;
- 6) За допомогою попередньої обробки води, що надходить на зернисті фільтри, флокулянтами (поліакриламід) і коагулянтами.

В якості фільтруючих матеріалів використовуються хімічно інертні речовини (кварцовий пісок, подрібнений антрацит), застосовуються тільки для затримання зважених частинок, або активні завантаження (діатоміт, активоване вугілля, подрібнений мармур), одночасно з висвітленням забезпечують поліпшення деяких якісних показників води. Підбір відповідного зернистого завантаження фільтрів дуже важливий для їх нормальної роботи. Фільтруючий матеріал повинен відповідати технічним вимогам, а також по механічній міцності та хімічній стійкості у воді, що обробляється.

Типи фільтрів залежно від якості води, яка очищається:

- 1) Фільтри з зернистим завантаженням, в яких в якості фільтруючого середовища використовують шар із зерен різних матеріалів; зерна величиною від 0,3 до 2 мм, висота шару із зерен різних матеріалів від 0,5 до 2 м. В якості фільтруючого завантаження застосовуються найрізноманітніші природні та штучні матеріали: кварцовий пісок, подрібнений антрацит, подрібнений керамзит;
- 2) Сітчасті фільтри, в яких в якості фільтруючого шару використовують сітки з дрібними отворами для затримання, знаходяться у воді зважених часток. Застосовуються різноманітні за конструктивним оформленням сітчасті фільтри, в яких використовуються металеві сітки, тканину, склотканину, сітки з синтетичних матеріалів;

- 3) Намивні фільтри, в яких фільтрувальне середовище утворюється з спеціальних порошків, що вводяться в воду, що очищається і накопичуються на каркасі фільтра;
- 4) Фільтри, в яких в якості фільтруючого середовища використовуються еластичні або жорсткі об'ємні пористі матеріали (наприклад, пориста кераміка і металокераміка).

У системах міського водопостачання найбільш поширені фільтрувальні споруди і пристрої з зернистими завантаженнями. З огляду на відносну простоту регенерації фільтруючого шару з зернистих матеріалів, а також з-за меншого, у порівнянні з іншими типами фільтрів, необхідного тиску для пропуску води через фільтруюче середовище при одночасному досягненні необхідного ступеня очищення води, а також можливості очищення великих кількостей води.

Для успішної роботи швидких фільтрів є обов'язкова коагуляція води перед її фільтруванням. Коагуляція води дозволяє утворювати агрегативно стійкі частинки суспензії, що дає можливість ефективно здійснювати очищення води. Для швидких фільтрів нормальним процесом вважається процес, коли зважені частинки відкладаються в товщі фільтруючого середовища. Глибина проникнення затриманих частинок залежить від їх характеру, швидкості фільтрування і крупності зерен фільтруючого середовища. Швидкі фільтри можуть виконуватися як відкритими, так і в напірному варіанті. Максимальна втрата напору в фільтруючому завантаженні відкритих швидких фільтрів приймається рівною 3–3,5 м, а в напірних фільтрах 6–8 м. У відкритих фільтрах для забезпечення необхідної питомої продуктивності споруд розрахункова висота шару води над поверхнею завантаження повинна бути не менше 2 м.

Значна швидкість фільтрування призводить до досить швидкої кольтатації фільтруючого шару швидких фільтрів, що викликає необхідність їх частої регенерації-промивання (до 2–3 разів на 1 добу). Така часта регенерація завантаження фільтрів не може здійснюватися зніманням верхнього шару завантаження, як це здійснюється в повільних фільтрах. Регенерацію

завантаження швидких фільтрів проводять зворотним промиванням, при якій відбуваються зважування фільтруючого матеріалу і відрив забруднень від зерен завантаження. Промивання фільтруючого шару може здійснюватися водою або водою з додаванням повітря.

При водяній промивці завантаження швидких фільтрів відбувається гідравлічне сортування зерен таким чином, що у верхніх шарах накопичується в основному дрібні зерна завантаження. Це призводить до збільшення темпу приросту втрати напору протягом фільтроцикла і, відповідно, до скорочення його тривалості. Тому для швидких фільтрів бажано застосовувати по можливості однорідні по крупності зерен фільтруючі матеріали.

М.Б. Журба зі співробітниками для очищення води рекомендує застосовувати фільтри з плаваючим завантаженням з полістиролу. Особливістю роботи фільтрів з пористим середовищем з гранул пінополістиролу і інших плаваючих завантажень з розміром зерен 0,3–15 мм, це завантаження не вимагає складних нижніх дренажних систем і спеціальних промивних насосів. Для утримання завантаження у фільтрі досить влаштувати решітки або перекриття із залізобетону з фільтруючими касетами або гідрозатворами [10].

Підвищити адсорбційні властивості кварцового завантаження можна шляхом її модифікації. На поверхні завантаження створити додаткові активні центри і заряди, які протилежні за знаком заряду частинок забруднень. Технологічно здійснюється шляхом замочування фільтруючого завантаження розчином поліакриламідом протягом 1–5 хв.

До дренажних систем фільтрів ставляться такі вимоги:

- рівномірність розподілу промивної і збору фільтрувальної води на площі фільтра;
- достатня механічна міцність підтримки маси завантаження і води;
- захист від бруду отворів і щілин при фільтруванні і промиванні.

Найбільш широко до теперішнього часу застосовуються дренажі трубчасті великого опору з підтримуючими шарами із щебню і гравію, мають деякі поширення дренажі з щілинних труб, ковпачків ВТІ–5, ВТІ–К і



«Деграмон». На деяких водогонах ефективно використовуються дренажі з пористого бетону і пористого полімербетону. Найбільш трудомістким в виготовленні, є традиційний трубчастий дренаж великого опору з підтримуючими шарами. На роботу цього дренажу якість укладання підтримки шарів гравію надає визначальне значення.

Відмовлятися від підтримуючих шарів гравію можна при заміні дірчатих труб на труби з вузькими щілинами (на 0,1 мм менше найменшої фракції завантаження) або при використанні щілинних ковпачків чи пористих плит. Щілинні труби і ковпачки рекомендується засипати гравієм розміром 4–8 мм на 50 мм вище труб.

Розроблено пористо-бетонні дренажі наступних конструкцій: з покладеної на поздовжні стінки підтримуючої плитою з великими порами, а на неї – дренажної плитою з пористого бетону із заповнювачем з гравію або щебню крупністю 3–10 мм; з покладеної на поздовжні стінки плитою з пористого бетону; дренаж, який представляє собою багатоканальний пустотілий блок, нижня частина якого виконана з щільного, а верхня – з пористого бетону. Такі дренажі успішно працюють на ряді фільтрувальних станцій, забезпечуючи високу ступінь відмивання завантаження. Однак при реагентній обробці води пористий бетон через 1–3 роки починає руйнуватися. Тому використовується портландцемент і пуцолановий цемент. Для отримання стійкого в агресивному середовищі пористого бетону пропонується прийняти глиноземний цемент.

Лотковий дренаж являє собою поздовжні по довжині фільтра канали, перпендикулярні збірній кишені, утворені опорними стінками і перекриті зверху неармованими полімербетонними плитами.

Полімер плити виготовляють зазвичай безпосередньо на станції. Рекомендований розмір їх дорівнює 0,30×0,60×0,05 м. В торці плит, перпендикулярних лотків, мають фаски під кутом 45–60°. Після монтажу плит пази закладають полімербетонном того ж складу. Плити до опорних стінок

кріплять цементним розчином або епоксидною мастикою (дрібний кварцовий пісок і епоксидна смола із затверджувачем).

До основних недоліків в роботі дренажно-розподільчої системи фільтрів можна віднести наступні:

- складність конструкції дренажно-розподільчої системи з горизонтальною компенсацією і з підтримуючими гравійними шарами;
- нерівномірність промивання фільтруючого матеріалу;
- трудомісткість ремонтних і відновлювальних робіт;
- недостатня якість очищеної (профільтрованої) води.

Перспективним напрямком є виготовлення дренажно-розподільчої системи з полімерних матеріалів (зовнішній шар) на базовій дірчастій поліетиленовій трубі. Ці дренажі прості у виготовленні, монтажі, надійні в експлуатації, порівняно недорогі, відрізняються малим гідравлічним опором.

Дренажно-розподільча система швидких фільтрів з трубчастих поліетиленових елементів вперше впроваджена в практику водоочищення науково-виробничими фірмами «Екополімер» і «Екотон» (Україна). Ці дренажні системи фільтрів мають суттєві відмінності від інших дренажних систем: не потрібні підтримуючі шари, забезпечують рівномірний збір фільтрату і розподіл промивної води, характеризуються стійкістю до корозійних і абразивних впливів, мають порівняно низький гідравлічний опір, мають стійкість до гідравлічних та аеродинамічних ударів, мають простоту монтажу і демонтажу елементів розподільчої системи, дозволяють проводити профілактичні і ремонтні роботи без повного вивантаження фільтруючих матеріалів, забезпечують тривалий термін експлуатації без заміни.

Водяна промивка – найбільш простий в конструктивному оформленні найпоширеніший спосіб відновлення здатності, що фільтрує на зернистих завантаженнях.

Однак він має ряд недоліків при застосуванні:

- не завжди забезпечується необхідна ефективність відмивання фільтруючого шару;

- відбувається гідравлічне сортування завантаження, що веде до скорочення тривалості фільтроцикла і зниження продуктивності споруд;
- витрачається велика кількість води (до 7–8 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> поверхні фільтруючого шару), що в свою чергу вимагає використання потужних насосів і великих ємностей для накопичення запасу води на промивку;
- потрібні великі споруди для обробки промивних вод при повторному використанні.

Ефективність водяного промивання може бути підвищена за рахунок збільшення інтенсивності промивки. Однак, по-перше, можливості такого збільшення потужності промивного насосного обладнання, габарити споруд повторного використання води та обробки осаду, а також підвідних і відвідних комунікацій. Технологічна ефективність промивання швидких фільтрів може бути підвищена наступними технологічними прийомами: додаткової поверхневої промивки, водоповітряною, пульсуючою, з чергуванням в площі фільтра інтенсивністю.

Застосування повітря дає можливість різко скоротити кількість води, необхідне для промивання фільтрувальних споруд, і, відповідно, зменшити розміри підвідних і відвідних комунікацій і засувки, потужність насосного обладнання та обсяги споруд повторного використання промивної води.

Швидкість підйому повітряних бульбашок у водному середовищі, принаймні, на порядок вище і становить 25–30 см/с при русі в фільтруючому шарі бульбашки повітря захоплюють за собою деяку частину води, тому місцеві швидкості потоку різко зростають. Внаслідок цього посилюється відрив від поверхні зерен фільтруючого шару.

Відомо два основні режими водоповітряної промивки: роздільна і спільна. При здійсненні роздільної водоповітряної промивки в воду спочатку подають тільки повітря протягом 2–3 хв з інтенсивністю 15–20 дм<sup>3</sup>/с·м<sup>2</sup>). На другому етапі відбувається відрив накопичених з фільтроцикла забруднень від поверхні зерен завантаження, та виніс забруднень із завантаження практично не відбувається. На другому етапі подається вода зі звичайною інтенсивністю, як і

при чисто водній промивці, в результаті чого відбувається видалення відірваних забруднень і їх транспортування в жолобах. Однак цей режим водоповітряної промивки може бути застосований тільки в фільтрувальних спорудах з низхідним потоком води, коли основна маса забруднень накопичується у верхніх шарах завантаження.

Більш ефективною є спільна водоповітряна промивка, яка зазвичай проводиться в три етапи. На першому етапі тривалістю 1–2 хв подається тільки повітря інтенсивністю  $15\text{--}20 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ . При такій попередній промивці завантаження повітрям відбувається вирівнювання гідравлічного опору по площі фільтра, що сприяє рівномірному розподілу промивної води на наступних етапах промивання і виключає можливість перерозподілу водних потоків і, відповідно, зміщення шарів завантаження.

Пульсуюча промивка полягає в чергуванні по часу періодів промивання (до 1 хв) і періодів практично повного її припинення на час близько 0,5 хв. В результаті скорочується обсяг промивної води, збільшується виніс забруднень, зменшуються залишкові забруднення, збільшується брудоемкість завантаження, подовжується фільтроцикл і підвищується якість фільтрату. Для створення пульсацій необхідно на трубопроводі промивної води встановлювати спеціальний пульсатор, який представляє собою корпус, усередині якого електродвигуном обертається з постійною швидкістю, затвор [11].

## **2 Вибір реагентів, використаних при проведенні дослідження**

Використані для очищення води реагенти можна розділити на наступні основні групи:

- коагулянти;
- флокулянти;
- допоміжні засоби при коагулюванні.

В якості коагулянтів зазвичай використовують солі алюмінію, солі заліза або їх суміші в різних пропорціях. Найбільшого поширення набув сульфат алюмінію  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , який випускають у вигляді очищеного і неочищеного технічного продукту. Неочищений коагулянт покращує процес утворення пластівців при обробці маломутних вод через вміст в ньому нерозчинних домішок. Утворений при гідролізі сульфату алюмінію в природних водах гідроксид має більшу адсорбційну ємність, ніж гідроксид заліза. Сульфат алюмінію чутливий до температури води, що очищається, що пояснюється великою гидратацією гідроксиду алюмінію при низьких температурах. Коагулянти, які містять алюміній, виготовляють і поставляють на водоочисні споруди у вигляді порошку, а також у вигляді розчинів, що містять від 7 до 32 %  $Al_2O_3$ .

Традиційно використовують для кольорових і мутних вод при  $pH = 5 - 7,5$  коагулянт – сульфат алюмінію, який має досить високу вартість і неефективний під час паводків, внаслідок уповільнення процесу утворення пластівців і осадження гідроксиду алюмінію. Один з головних його недоліків – значні кількості залишкового алюмінію (III) в очищеній воді.

Правильним підбором дози коагулянту вдається домогтися необхідної якості очистки води, однак при цьому очисні споруди працюють не в оптимальному режимі, знижується їх продуктивність і скорочується фільтроцикл.

Інший, не менш важливий недолік – мала міцність пластівців, що утворюються при коагуляції, що не дозволяє працювати при високих швидкостях потоку води і яка веде до виносу забруднень з фільтруючого завантаження і їх руйнування.

Третя вада – зниження  $pH$  і поява у коагульованій води корозійних властивостей і необхідність у багатьох випадках додаткової її стабілізаційної обробки.

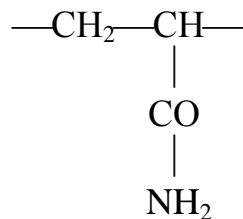
Для підвищення якості очищення води разом з коагулянтом використовують вапно, а також проводять попередню обробку води

підвищеними дозами хлору. Однак найкращі результати, що дозволяють значно удосконалити технологію очищення води, були досягнуті при застосуванні деяких водорозчинних високомолекулярних речовин. Збільшується міцність пластівців, стабілізуються процеси очищення води в несприятливих умовах і підвищується якість обробленої води.

Для прискорення процесу коагуляції при очищенні води від колоїдних і інших забруднень набули поширення високомолекулярні флокулянти: синтетичний флокулянт – поліакриламід (ПАА) і неорганічний флокулянт – активна кремнієва кислота (АК) [12].

Синтетичні флокулянти отримали набагато більш широке застосування, ніж природні, по-перше, тому що вони мають кращі флокуляційні властивості; по-друге, їх виробництво (з продуктів переробки вугілля і нафти), як правило, пов'язане з меншими витратами.

Структура поліакриламіда (ПАА) має вигляд:



Полиакриламід (ПАА) – добре розчинена речовина, що містить іоногенні групи. Механізм дії цього флокулянта заснований на адсорбції його молекул на частинках гідроксиду алюмінію, що утворюються при гідролізі солей коагулянту. Молекули ПАА здатні утворювати асоціати фібрилярного типу. Через витягнутої форми молекули адсорбція відбувається в різних місцях і з декількома частинками гідроксиду, внаслідок чого останні зв'язуються полімерними частинками в важкі, великі і міцні агрегати.

Останнім часом для підготовки питної води в Україні, згідно з прозого, використовуються флокулянти Extraflock N160. За хімічною структурою флокулянти ряду Extraflock, можуть бути віднесені до поліакриламіду (ТУ У 24.1-19155069-014:2011).

Токсичність флокулянтів залежить від їх хімічного складу і структури, молекулярної маси, швидкості дифузії і всмоктування в тканини, характеру взаємодії з компонентами живої клітини і властивостей утворюються при цьому речовин. Суттєве значення має присутність непрореагованих мономерів і реагентів, що використовуються при синтезі, токсичність яких значно перевищує токсичність полімерів. Гранично допустимі концентрації флокулянтів у воді встановлюють на підставі санітарно-гігієнічних досліджень. Використання флокулянтів допускається, якщо залишковий їх вміст у воді, що пройшла очисні споруди і що використовується для питного водопостачання (природна вода) або скидається в водойми (міські та виробничі стічні води), менше ГДК. Поліакриламід практично нетоксична речовина, нешкідлива і не діє на шкіру і слизові оболонки. При правильно обраній дозі і умовах змішання флокулянти практично повністю взаємодіють з колоїдними частинками, тому у воді, з якої вилучені пластівці, можуть перебувати лише сліди полімеру.

Відповідно до висновку головного санітарно-епідеміологічного управління Міністерства охорони здоров'я України ці флокулянти можуть бути використані для підготовки питної води на водопровідних станціях.

При виконанні досліджень використовували реагенти, які отримали найбільше поширення при очищенні води в системах комунального водопостачання – це сульфат алюмінію, а також поліакриламід (ПАА).

Досвід експлуатації очисних споруд водопроводу показує, що використання реагентів в процесі очищення води пов'язане з певними труднощами: приготування реагентів вимагає спеціального устаткування, необхідні виробничі площі, для отримання розчинів реагентів необхідна наявність сировини і т. д. Тому в даний час набувають поширення методи, які інтенсифікують реагентні способи очищення води. До їх числа відноситься розглянутий в даній роботі метод використання модифікованого кварцового завантаження для інтенсифікації процесу фільтрування води на швидких фільтрах.

### 3 Методика виконання досліджень

Суспензії які знаходяться у воді, впливають на процес фільтрування, який має велике значення для обґрунтування раціонального підходу до вибору фільтруючих завантажень. Затримування завислих речовин при фільтруванні відбувається в результаті їх прилипання до зерен фільтруючого завантаження. Причинами адгезії є: сили хімічного подібності, електростатичні Кулонівські сили і молекулярні сили Ван-дер-Ваальса [4].

Сили хімічної спорідненості є найбільш короткодійними, вони проявляються лише при безпосередньому зіткненні частинки з зерном. Молекулярні Ван-дер-Ваальсові сили виникають між незарядженими молекулами і їх енергія дорівнює 3–7 ккал/моль.

Залежно від знака заряду Кулонівські сили виникають між зарядженими тілами взаємодіючих тіл і сприяють їх тяжінню (при різнойменних зарядах) або відштовхуванню (при однойменних зарядах). Ці сили діють на великих відстанях, ніж сили Ван-дер-Ваальса.

В електрокінетичних явищах для яких характерний рух розчину щодо зарядженої поверхні або навпаки. В електричному полі наявність зарядженої поверхні проявляється в дії на воднодисперсних системах деякої сили, і навпаки, при русі зарядженої поверхні щодо розчину індукується електричне поле. В обох випадках між подвійним шаром і середовищем є площина ковзання, і результати вимірювань можна інтерпретувати як зміну щільності заряду до цієї площини.  $\xi$ -потенціал не є потенціалом міжфазної межі, оскільки він розвивається цілком всередині рідкої фази; його можна розглядати як різницю потенціалів в практично однорідному середовищі між точкою на деякій відстані від поверхні і точкою на площині зсуву.

Електроповерхневі властивості частинок можуть бути виконані широко відомими електрокінетичними методами, з яких найбільшого поширення набули потенціал протікання, електроосмос і електрофорез. Два останніх методи пов'язані з накладенням електричного поля на досліджувану систему, а



це вносить певні умовності. Метод потенціалу протікання вільний від цього недоліку і вважається найбільш надійним методом, що дозволяє досліджувати електрокінетичний потенціал фільтруючих матеріалів, зокрема, кварцового піску.

Дослідження електрокінетичного потенціалу фільтруючого матеріалу кварцового піску виконували методом потенціалу протікання. Модифікацію кварцового завантаження виконували нанесенням на поверхню зерен піску 0,5 % розчин ПАА з концентрацією 0,03 мг/дм<sup>3</sup> [13].

У швидких фільтрах кварцовий пісок має негативний електричний заряд, який характеризується електрокінетичним потенціалом ( $\xi$ -потенціал), який знаходиться у природній воді у вигляді колоїдних і грубодисперсних забруднень (глинисті частинки, бактерії, водорості) зазвичай заряджені негативно. Цей заряд для глинистих частинок обумовлений самою структурою мінералу. Вивчення впливу заряду завантаження і зважених речовин частинок на процес фільтрування проводилося із суспензією ілітової глини і водною витяжкою торфу.

Суспензію глини готували на дистильованій воді, протягом 24 годин суспензія відстоювалась. Зважені речовин в суспензії визначали ваговим методом. Перед проведенням дослідів вихідну суспензію, яка містить приблизно 500 мг/дм<sup>3</sup> глини, розбавляли дистильованою водою до необхідної концентрації.

Відомо, якщо зерна фільтруючого завантаження покрити флокулянтном ПАА, то завантаження придбає позитивний заряд, що підтверджено науковими роботами Вейцера Ю.І., Колобова З.А., Сафонова Г.М.

Завантаження з позитивним зарядом отримали методом нанесення на поверхню зерен піску 0,5 % розчину ПАА з концентрацією 0,03 мг/дм<sup>3</sup>.

Основний показник, що характеризує електричні властивості завантажень, золів, суспензій, був прийнятий електрокінетичний потенціал. Визначення  $\xi$ -потенціалу фільтруючого завантаження визначали методом протікання потенціалу, який згідно досліджень залежить від дози флокулянта

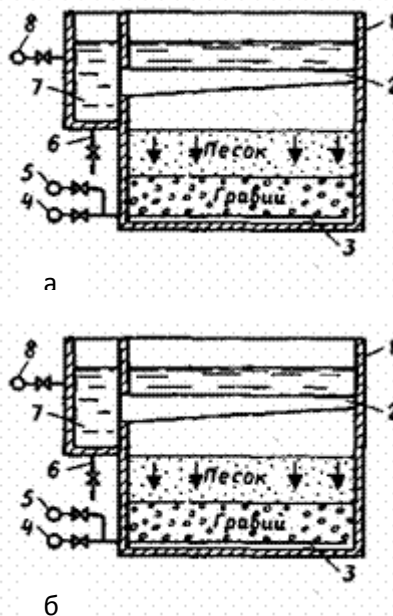
при модифікації фільтруючого завантаження, виконаний Вейцером Ю.І., Душкіним С.С. та іншими [13, 14].

Вплив дози 0,5 % флокулянта на  $\xi$ -потенціал фільтруючого завантаження в процесі її модифікації представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення  $\xi$ -потенціалу при різних дозах флокулянта в процесі модифікації фільтруючого завантаження

Доза флокулянта, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$\xi$ -потенціал фільтруючої загрузки	27,2	28,3	35,5	30,6	28,9

При проведенні досліджень була використана лабораторна установка (рисунок 3.1), яка дозволяла виконати інтенсифікацію процесу очищення води на швидких фільтрах [15].



а – швидкий фільтр зі звичайним завантаженням;

б – швидкий фільтр з модифікованим завантаженням:

1 – корпус фільтра; 2 – жолоби для розподілу фільтрованої води і для відводу промивної; 3 – дренажна система; 4 – відведення фільтрованої води; 5 – подача промивної води; 6 – відведення брудної промивної води;

7 – розподільча кишеня; 8 – подача проясненої води

Рисунок 3.1 – Схема лабораторних установок швидкого фільтра

Установка складається з двох моделей швидких фільтрів, що виконані з плексігласових труб у вигляді циліндрів діаметром 50 мм і висотою 1,5 м. Прозорі стінки моделей дозволяли спостерігати за поведінкою завантаження, у моделях швидких фільтрів вода подавалася зверху вниз.

Висота завантаження швидких фільтрів була прийнята 0,5 м. Для завантаження використовувався пісок з еквівалентним діаметром 0,9–1,1 мм; висота шару 0,5 м; коефіцієнт неоднорідності завантаження 2,5, товщина підтримуючих гравійних шарів становила 0,2 м. Швидкість фільтрування не перевищувала 0,5 м/год.

Швидкий фільтр по висоті через 200 мм був обладнаний пробовідбірними дренажними трубками для відбору проб води з різних верств, і після проходження всієї товщі завантаження. Із бака з замутиювачів дрібнодисперсний розчин каоліну подавався в бак з вихідною водою, де перемішувався мішалкою. Отримана модельна вода в баках-змішувачах змішувалася з допомогою мішалок з розчином коагулянту з дозаторів. При цьому один з баків був заповнений звичайним завантаженням, а інший – модифікованим.

Основним технологічним критерієм ефективності використання модифікованого завантаження швидкого фільтра прийнято залишковий вміст завислих речовин в освітленій воді, а також її забарвленість, тому що саме ці показники є одними з основних, які характеризують роботу очисних споруд.

Під час проведення дослідів фіксувався залишковий вміст завислих речовин у фільтраті ваговим методом, в ряді випадків можливе визначити шляхом вимірювання коефіцієнта ослаблення світла за допомогою фотоелектрокалориметра.

Отриманий ефект від модифікації завантаження визначається по відношенню:

$$E = \left(1 - \frac{D_0}{D_m}\right) \cdot 100\% \quad (3.1)$$

де  $E$  – ефект модифікації, %;

$D_0$  – залишковий вміст завислих речовин або кольоровості в освітленій воді (оптична щільність суспензії в пробі) при звичайній фільтрації ;

$D_m$  – при модифікації завантаження розчином ПАА.

Модифікація кварцового завантаження виконана 0,5 % розчином ПАА дозою 0,03 мг/дм<sup>3</sup>, вважаючи на активну частину протягом 5 хв. Потім розчин ПАА віддалявся по трубопроводу, і використовувався в процесах очищення води.

В якості фільтруючого завантаження в системі водопідготовки використовували кварцовий пісок. Дослідження впливу модифікації завантаження виконувалися на воді наступного складу (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Якісні показники води, що використовувалася при дослідженнях

Показники	Зимовий період	Період весняного паводка
Температура, °С	1,8	8,9
Зважені речовини, мг/дм <sup>3</sup>	16,4	25,6
Забарвленність	25	36
pH	7,2	7,1
Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>	2,6	1,9

#### **4 Вплив часу модифікації фільтру з кварцовим завантаженням швидкого фільтра на тривалість фільтроцикла**

Вплив часу модифікації кварцового завантаження на тривалість фільтроцикла наведено на рисунку 4.1 і в таблиці 4.1. При цьому доза 0,5 % - го розчину флокулянта була прийнята 0,03 мг/дм<sup>3</sup>. Швидкість фільтрації

становила 0,5 м/год, час модифікації – 1, 3, 5, 6 хвилин, тривалість фільтроцикла – 20 хвилин.

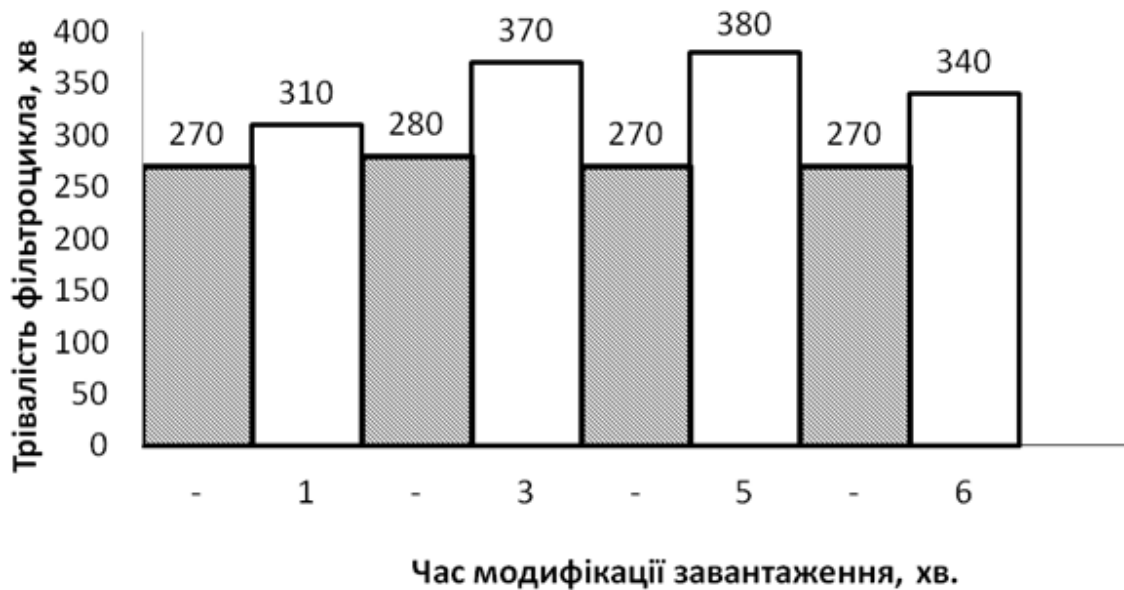


Рисунок 4.1 – Вплив часу модифікації кварцового завантаження розчином ПАА на тривалість фільтроцикла

Таблиця 4.1 – Вплив часу модифікації на тривалість фільтроцикла

№ фільтроцикла	Тривалість фільтроцикла, хв.			Поліпшення показника, %
	Звичайне фільтрування	Час модифікації завантаження, хв.	При модифікованому завантаженні	
Ф-1	270	1	310	14,8
Ф-2	280	3	370	32,1
Ф-3	270	5	380	40,7
Ф-4	270	6	340	25,9

Дослідні дані показують, що модифікація кварцового завантаження 0,5 % розчином флокулянта ПАА дозволяє збільшити тривалість фільтроцикла в середньому на 20–35 %. Так, при модифікації кварцового завантаження протягом 1 хвилини, тривалість фільтроцикла збільшилася на 14,8 %

(фільтроцикла  $\Phi-1$ ), при модифікації протягом 3 хвилин фільтроцикл збільшився на 32,1 %, найбільше збільшення тривалості фільтроцикла спостерігалось при модифікації протягом 5, 6 хвилин (фільтроцикли  $\Phi-3$  і  $\Phi-4$ ) складає 40,7 % та 25,9 %.

При модифікації кварцового завантаження 0,5% розчином флокулянта у всьому діапазоні досліджених інтервалів часу модифікації має місце збільшення тривалості фільтроцикла.

Так, при модифікації протягом  $t_T = 1$  хвилини фільтроцикла становить  $t_\Phi = 310$  хвилин, що на 40 хвилин більше, ніж при звичайному фільтруванні  $t_\Phi = 270$  хвилин. При модифікації кварцовою завантаження протягом  $t_m = 5$  хв, спостерігається ще більше підвищення тривалості фільтроцикла і становить  $t_\Phi = 380$  хвилин, що на 110 хвилин більше, на відміну від звичайного фільтрування  $t_\Phi = 270$  хвилин.

## **5 Вплив часу модифікації фільтруючого завантаження швидкого фільтра на мутність і кольоровість фільтрату**

Модифікація кварцового завантаження швидкого фільтра 0,5 % розчином флокулянта ПАА дозволяє підвищити якість фільтрату, що підтверджується дослідними даними, наведеними на рисунках 5.1 та 5.2, а також в таблицях 5.1 та 5.2. При цьому використання модифікованого кварцового завантаження дозволяє підвищити якість освітлення води на швидких фільтрах. Так, при звичайному фільтруванні каламутність фільтрату становить  $2,08 \text{ мг/дм}^3$ , а при модифікації завантаження протягом хвилини –  $1,27 \text{ мг/дм}^3$ , тобто спостерігається підвищення якості фільтрату на 63,3 %. Забарвленість фільтрату при звичайному фільтруванні становить 25 град. ПКШ, а при модифікації завантаження протягом  $t_m = 1$  хвилини – 20 град. ПКШ, тобто має місце зниження забарвленості на 25,1 %.

Таблиця 5.1 – Вплив часу модифікації кварцового завантаження розчином ПАА на забарвленість фільтрату

№ фільтро-цикла	Забарвленість фільтрата, град ПКШ			Поліпшення показника, %
	Звичайне фільтрування	Час модифікації завантаження, хв.	При модифікованому завантаженні	
Ф–1	25	1	20	25,1
Ф–2	25	3	19	31,5
Ф–3	25	5	18	38,8
Ф–4	25	6	20	25,1

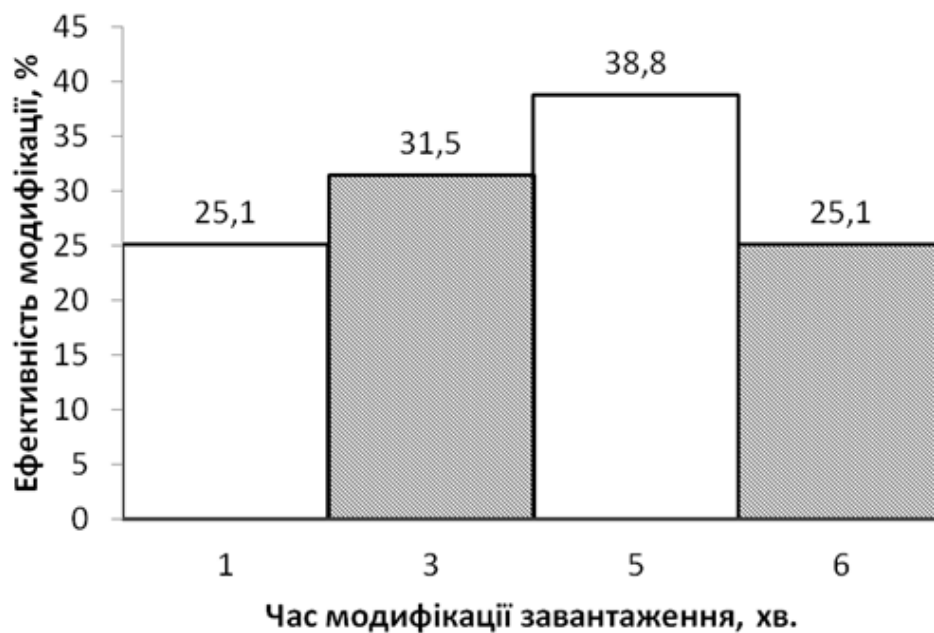


Рисунок 5.1 – Вплив часу модифікації кварцового завантаження розчином ПАА на забарвленість фільтрату

Кожного разу при модифікації  $t_m = 5$  хвилин поліпшення показників по мутності фільтрату склало 70,3 %, а по забарвленості – 38,8 %.

При модифікації  $t_m = 6$  хвилин, підвищення якості очищення по каламутності становило 60,8 % а по забарвленості – 25,1 %.

Таблиця 5.2 – Вплив часу модифікації кварцового завантаження розчином ПАА на мутність фільтрату

№ фільтро-цикла	Мутність фільтрата, мг/дм <sup>3</sup>			Поліпшення показника, %
	Звичайне фільтрування	Час модифікації завантаження, хв.	При модифікованому завантаженні	
Ф–1	2,08	1	1,27	63,3
Ф–2	1,32	3	1,4	58,6
Ф–3	2,01	5	1,18	70,3
Ф–4	2,22	6	1,38	60,8

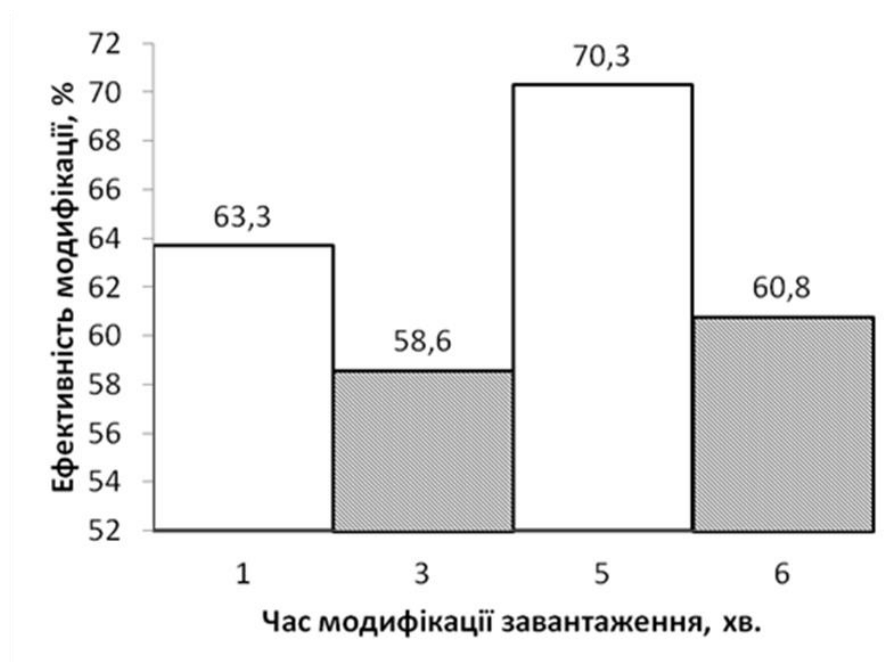


Рисунок 5.2 – Вплив часу модифікації кварцового завантаження розчином ПАА на мутність фільтрату

Оптимальним за часом модифікації для води досліджуваного якісного складу становить 5 хв, проте слід враховувати, що на якість фільтрату освітленої води впливають фізико-хімічні показники води, про що зазначено дослідниками.



## 6 Технологічна схема очищення води

Лабораторні дослідження дозволили зробити висновок щодо можливості інтенсифікації роботи швидких фільтрів, при використанні модифікованого кварцовою завантаження флокулянт ПАА. При цьому досягається зниження витрати флокулянта та підвищення ступеня очищення води по каламутності та забарвленості.

Результати роботи:

- поліпшення якісних показників фільтрату: по каламутності в середньому на 63 %, забарвленості – в середньому на 31 %.
- зниження дози флокулянта ПАА в процесі очищення води на 20%–25%;
- підвищення продуктивності швидких фільтрів і всієї системи очисних споруд в цілому в середньому на 25–30%.
- поліпшення якості очищення води.

Відповідно до основних показників якості вихідної води, рекомендацій ДБН В2.5 – 75:2013 [16] до проектування прийнята двоступенева схема очищення води. Для інтенсифікації процесу очищення у вхідну воду вводять коагулянт – сульфат алюмінію і флокулянт ПАА.

Як коагулянт прийнятий неочищений сульфат алюмінію, що містить не менш 45,3 %  $Al_2(SO_4)_3$ . Як флокулянт прийнятий 0,5 % поліакриламід (ПАА).

Змішування розчинів реагентів з вихідною водою передбачається у вихровому (вертикальному) змішувачі. Перед змішувачами у трубопровід вихідної води вводяться хлор для попереднього знезараження і коагулянт.

Після відстійника вода надходить до модифікованого скорого фільтра флокулянт ПАА. Відфільтрована вода знезаражується хлором. Вода після промивання скорих фільтрів надходить у споруди повторного використання промивних вод, з яких рівномірно протягом доби перекачується в трубопровід перед змішувачем.

Технологічна схема з модифікованим завантаженням швидкого фільтра наведена на рисунку 6.1.

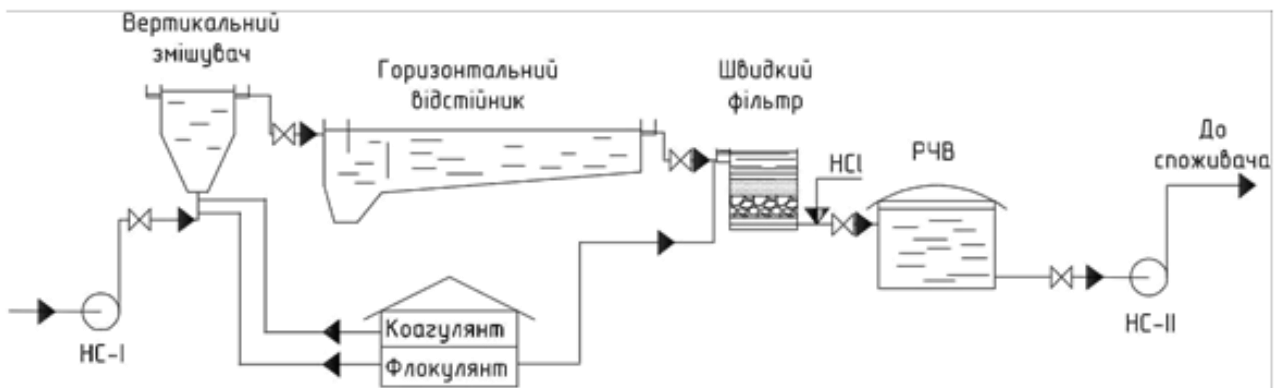


Рисунок 6.1 – Технологічна схема з модифікованим завантаженням швидкого фільтра

## 7 Економічна ефективність запропонованих рішень

Основне завдання – це підвищення економічної ефективності виробництва. Для виконання завдань, необхідно на кожному підприємстві використовувати внутрішньовиробничі резерви, домагатися зниження собівартості, удосконалювати управління і планування.

Основним недоліком освітлення води є великі масштаби реагентного господарства, велика витрата реагентів, особливо при цвітінні води.

Лабораторні дослідження показали, що запропонований спосіб дозволяє при модифікації фільтруючих матеріалів збільшити тривалість фільтроциклу на 30% і цим самим підвищити брудосмкість завантаження, зменшити витрати води на власні потреби – у підсумку знизити собівартість очистки.

Розрахунок річного економічного ефекту від впровадження модифікованої кварцової заправки флокулянт ПАА на очисних спорудах:

$$E = C'_{\phi} - C''_{\phi} \quad (7.1)$$

де  $C'_{\phi}$  – витрати флокулянта за базовим варіантом, грн;

$C''_{\phi}$  – витрати на придбання флокулянта по запровадженого варіанту, грн.;

Затрати на придбання флокулянта за базовим варіантом:

$$C'_{\phi} = C_k \cdot P \quad (7.2)$$

де  $C_k$  – вартість флокулянта ПАА, грн.;

$P$  – річна витрата флокулянта, т.

$$C'_{\phi} = 195880 \cdot 3 = 587640 \text{ грн}$$

Затрати на придбання флокулянта за запровадженим варіантом:

$$C''_{\phi} = 195880 \cdot 2.25 = 440730 \text{ грн}$$

Економічний ефект:

$$E = 587640 - 440730 = 146910 \text{ грн}$$

Таблиця 7.1 – Економічний ефект використання модифікованої загрузки

№	Показники	Одиниця вимірювання	Базовий варіант	Потенційний економічний ефект
1	Річна витрата флокулянта	т	3	2.25
2	Вартість флокулянта	грн/т	195880	195880
3	Затрати на придбання флокулянта	грн/т	587640	440730
4	Економічна ефективність	грн	–	146910

Економічний ефект від використання модифікованого завантаження флокулянтом для умов очищення води в КП «Вінницяоблводоканал» становить 147 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

Виконані дослідження дозволили зробити висновок про можливість інтенсифікації роботи швидких фільтрів, при використанні модифікованої кварцового завантаження. При цьому досягається зниження витрати флокулянта та підвищення ступені очищення води по каламутності і забарвленості.

Запропонований спосіб очистки шляхом модифікації кварцового завантаження, дозволяє інтенсифікувати процес освітлення води, зменшити витрати реагентів на 25% – 30% з отриманням очищеної води потрібної якості, скоротити кількість виробничих площ, необхідних для реагентного господарства очисних споруд, причому собівартість очистки води знижується на 20% – 25%.

Згідно методики розрахунку зниження дози реагенту необхідного для очищення природної води до питної якості та даним про оголошення тендеру [17] на закупку флокулянту КП «Вінницяоблводоканал» на період 01.01.2020 – 31.12.2020 згідно додатку 1 до договору №428 Поставки поліакриламід (флокулянт) потенційна економія складає близько 147 тис. грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Запольский А. К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды : Свойства. Получение. Применение / А. К. Запольский, А. А. Баран. – Л. : Химия, 1987. – 176 с.
2. Патент України на корисну модель № 118596. Спосіб очистки природних і стічних вод / Державний департамент інтелектуальної власності МОН // Бюл. №25, 10.08.2017. Душкін С. С., Благодарна Г. І., Коваленко О. М., Євдошенко В. В., Гресь О. В.
3. Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами / Е. Д. Бабенков. – М. : Наука, 1977. – 356 с.
4. Дерягин Б. В. Теория устойчивости сильно заряженных лиофобных золь и слипания сильно заряженных частиц в растворах электролитов / Б. В. Дерягин, Л. Д. Ландау // Журн. Экспериментальной и теор. физики. – 1954. 15, № 11. – С. 633-681.
5. Калінков О. Ю. Фізична та колоїдна хімія. Навчальний посібник [Електронний ресурс] / О. Ю. Калінков – Режим доступу до ресурса: <http://uchebniks.net>
6. Кульский Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – К. : Высшая школа, 1981. – 238с.
7. Фрейдлих Л. Коллоидная химия и биология / Л. Фрейдлих. – Л. : Изд-во хим.-техн. ин-та, 1925. – 34 с.
8. Вейцер Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод / Ю. И. Вейцер, Д. М. Минц. – М. : Стройиздат, 1984. – С. 135-136.
9. Минц Д. М. Фильтры АКХ и расчеты промывки скорых фильтров / Д. М. Минц, С. А. Шуберт. – Ленинград: Изд. Мин. ком. хоз-ва РСФСР, 1951. – 174 с.
10. Журба М. Г. Очистка Воды на зернистых фильтрах / М. Г. Журба. – Львов : Высшая школа, 1980. – 200 с.

11. Дренажные распределительные системы скорых фильтров [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-15/92.htm>.
12. Аксенов В. И. Применение флокулянтов в системах водного хозяйства : учебн. пособ. // В. И. Аксенов, Ю. В. Аникин, Ю. А. Галкин и др. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2008. – 92 с.
13. Вейцер Ю. И. Влияние знака электрического заряда загрузки и взвешенных веществ на процесс фильтрования / Ю. И. Вейцер, З. А. Колобов, Г. М. Сафонов. – Научные труды АКХ, т. 97 – М. : ОНТИ АКХ, 1974. – С.33 – 42.
14. Пат. України № 45258 А, МПК 6 С 02F1/52, С02F1/48. Спосіб модифікації фільтруючого завантаження для освітлення природних і стічних вод / Душкін С. С., Благодарна Г. І., Тихонюк В. О. Заявка 10.07.2002; Опубл. 15.03.2002.
15. Dushkin S. S., Martynov S., Dushkin S. S. 2019. Intensification of the work of contact clarifiers of drinking water preparation. Journal of Water and Land Development. №. 41 (IV–VI) p. 55–60. DOI: 10.2478/jwld-2019-0027.
16. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування.
17. Згідно з Законом України "Про публічні закупівлі" (Документ 922-VIII, чинний, поточна редакція — Редакція від 01.01.2019, підстава - 2629-VIII) портал [prozorro.gov.ua](http://prozorro.gov.ua) є відкритим ресурсом, який пропонує доступ до всієї інформації з центральної бази даних про електронні тендерні торги, що були оголошені з 31 липня 2016 року.