

УДК 628.164-926.41

РАДОВЕНЧИК В. М.*, ГОРДІЄНКО К. Ю., РАДОВЕНЧИК Я. В., КРИСЕНКО Т. В.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИДАЛЕННЯ ЧАСТОК ФОСФАТУ КАЛЬЦІЮ ІЗ ВОДИ

Пом'якшення води в офісах та приватних будинках проводиться сьогодні, переважно, іонообмінним методом, незважаючи на значний його негативний вплив на гідросферу. Надзвичайно актуальною сьогодні є розробка альтернативних безпечних технологій в цій галузі. Такою альтернативою можна вважати використання ефективних реагентів, що переводять іони жорсткості в тверду фазу.

Використання фосфатів в якості таких реагентів дозволяє, в залежності від умов, знизити залишкову жорсткість води до рівня $0,1 \text{ мг-екв/дм}^3$ і менше. Важливою проблемою такої технології є ефективність відділення твердої фази від маточного розчину. Цей етап може бути реалізований шляхом відстоювання чи фільтрування. Використовуючи модельні розчини кальцію, оброблені відповідними дозами фосфату натрію та флокулянтів, виділено найбільш ефективні з них в процесах відстоювання. В якості флокулянтів використовували поліакриламід – як неіоногенний флокулянт, Magnofloc – 336 фірми Ciba – як флокулянт аніонного типу, Zetag – 7692 фірми Ciba – як флокулянт катіонного типу.

Флокулянт Magnofloc – 336 виявився найбільш ефективним при відстоюванні високодисперсних часток фосфату кальцію. При концентрації флокулянта в 30 мг/дм^3 за 10 хв відстоювання уявний об'єм твердої фази знижується до 30 % від початкового об'єму суспензії і на цьому значенні стабілізується. Інші типи флокулянтів та інші їх дози були менш ефективними.

Децю інша ситуація спостерігається при відділенні твердої фази фільтруванням. Найбільший вплив на швидкість фільтрування справляє температура, водневий показник та співвідношення між компонентами. На швидкість фільтрування суттєво впливають лише температури нижче 20°C . Особливо це помітно при температурі в 5°C . За такої температури об'єм фільтрату на 8 – 20 хвилин відстає від об'єму фільтрату дистильованої води. При 15°C ця різниця менше, а при температурах вище 20°C криві взагалі накладаються. В діапазоні рН 5 – 9 суттєвого впливу на швидкість фільтрування не спостерігається. Лише в сильно лужному середовищі необхідні терміни фільтрування суттєво зростають, що, на нашу думку, пов'язано із формуванням значної кількості аморфних часток різноманітного складу, котрі здатні перекривати пори фільтрів. При стехіометричному співвідношенні компонентів крива зміни швидкості фільтрування практично співпадає із кривою зміни швидкості фільтрування дистильованої води за тих же умов. При зміні співвідношення як в бік зменшення, так і в бік збільшення, умови фільтрування суспензії погіршуються. І чим більше співвідношення відрізняється від стехіометрії, тим розвинутішу структуру має тверда фаза і тим гірше відбувається її відділення від рідкої фази. Із зміною співвідношення між компонентами змінюється і рН нульового заряду твердих часток. Якщо при стехіометричному співвідношенні компонентів вона знаходиться при рН 8,15, то при зменшенні співвідношення до 0,5 знижується до рН 7,41, а при збільшенні до 2 – зростає до рН 8,64. Зміна співвідношення компонентів впливає не лише на знак заряду поверхні, а й на його величину, що не може не впливати на ефективність відділення твердої фази. Тип та дози флокулянтів, визначені як найбільш ефективні при відстоюванні, не завжди забезпечують аналогічний ефект при фільтруванні. Найбільшу швидкість фільтрування мають суспензії без додавання флокулянтів. Дослідження впливу флокулянтів при їх концентраціях 10 та 30 мг/дм^3 показало, що жоден з різних їх типів та при їх різних концентраціях не сприяє підвищенню швидкості фільтрування. Очевидно, значні дози флокулянтів сприяють швидкій коагуляції пористого середовища фільтрів та викликають зниження швидкості транспортування рідкої фази.

Отримані результати дозволяють визначити ефективні реагенти для видалення іонів кальцію із природних вод та оптимальні умови їх застосування і слугувати базою для розробки ефективних та безпечних для довкілля технологій пом'якшення природних вод.

Ключові слова: пом'якшення, кальцій, флокулянт, відстоювання, фільтрування, заряд поверхні

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2022.265365

* Corresponding author: dokeco@ukr.net

Received 11 August 2022; Accepted 2 September 2022

Постановка проблеми. Катастрофічне зниження запасів якісних природних вод стає сьогодні однією із найгостріших проблем сталого розвитку людства. Людство в більшості випадків споживає воду, що за своїми характеристиками не відповідає чинним нормативним документам. Тому більшість вод, що забираються людиною з поверхневих водойм, необхідно піддавати попередньому очищенню. Не краща ситуація і з підземними водами, котрі сьогодні мають підвищену мінералізацію та жорсткість, містять значні кількості заліза та інших забруднювачів. Всі ці проблеми сьогодні далекі від вирішення і потребують пильної уваги науковців та виробників.

Аналіз попередніх досліджень. Жорсткість вод є надзвичайно важливим параметром, оскільки в значній мірі впливає не лише на здоров'я людини, а й можливість використання вод підвищеної жорсткості в промислових технологіях. Давно відомо, що споживання жорсткої води загрожує людині проблемами опорно - рухового апарату, негараздами із серцево – судинною системою, відкладанням каменів в нирках і жовчному міхурі. Жорстку воду не використовують і промислові підприємства. Наприклад, жорсткість води в харчовій промисловості регламентується на рівні 0,1 – 0,2 мг-екв/дм³, а в енергетиці - взагалі на рівні 0,03 – 0,05 мг-екв/дм³ [1]. Традиційною технологією зниження жорсткості води сьогодні вважається содово – вапняне пом'якшення. Суть його полягає в обробці жорсткої води спочатку карбонатом натрію для осадження іонів кальцію, а потім вапном для осадження іонів магнію [2]. Обов'язковим етапом цієї технології є процес відстоювання, після котрого оброблена вода потребує коригування рН. Незважаючи на те, що ця технологія вважається базовою для промислового використання, ефективність її досить низька - залишкова жорсткість води складає 0,5 – 1,0 мг-екв/дм³. І це при тому, що процес пом'якшення проводиться при рН 10 – 11 та температурі 35 – 40 °С. Більшою ефективністю відрізняються іонообмінні установки пом'якшення води, які сьогодні отримали найбільшого поширення в офісах та приватних будинках і квартирах [3]. Разом з тим, періодичне утворення регенераційних розчинів, основним компонентом котрих є хлорид натрію і домішки іонів кальцію та магнію та використання на власні потреби 20 – 30 % обробленої води [4] не дозволяє вважати питання вирішеним.

Проведені нами дослідження показали, що використання содово – вапняної технології пов'язано із значною перевитратою реагентів, необхідністю підтримання високих температур та сильно лужного середовища [5]. Для систем малої продуктивності такі умови мало прийнятні, оскільки потребують влаштування багатоетапних технологічних процесів. Давно відомо про можливість використання в якості осаджувача іонів кальцію фосфатів, з котрими він утворює нерозчинну сполуку [6]. Проведені нами дослідження підтвердили високу ефективність такого процесу і, що саме головне для можливості їх використання для офісних та побутових систем – моментальне утворення твердої фази при змішуванні реагентів і при температурах навколишнього середовища [7]. Разом з тим, для забезпечення загальної високої ефективності процесу пом'якшення необхідно забезпечити ефективне розділення твердої та рідкої фаз. Очевидно, що найбільш прийнятними можна вважати для такої технології відстоювання та фільтрування. Причому, останній процес є більш придатним, оскільки має більшу швидкість та не потребує ємностей значного об'єму. При недостатній ефективності цього етапу обробки частина осаду залишатиметься у воді і справлятиме негативний вплив на її характеристики. Питання відділення твердої фази однаково важливі як при відстоюванні, так і при фільтруванні. Таким чином, невирішеною частиною наукової проблеми пом'якшення води шляхом обробки фосфатом натрію залишається ефективність процесів розділення рідкої та твердої фаз.

Метою статті є вивчення особливостей виділення твердої фази із обробленої води традиційними методами та можливостей підвищення ефективності цих процесів.

Методика роботи. Попередньо приготовані модельні розчини із вмістом іонів кальцію на рівні 15 – 17 мг-екв/дм³ обробляли відповідно розчином фосфату натрію або сумішшю фосфату натрію та флокулянта. В останньому випадку доза фосфату натрію залишалася постійною і відповідала стехіометрії, а доза флокулянта змінювалася в межах 0 – 50 мг/дм³. В якості допоміжних реагентів використовували поліакриламід (ПАА) – як неіоногенний флокулянт, Magnofloc – 336 фірми Сіба – як флокулянт аніонного типу з молекулярною масою до 20 млн. в.о., Zetag – 7692 фірми Сіба – як флокулянт катіонного типу з молекулярною масою до 20 млн. в.о. Оброблені такою сумішшю модельні розчини заливали в мірні циліндри та знімали криві відстоювання. Фільтрування досліджували на комплекті, що складався із мірного циліндра об'ємом 100 см³ та лійки відповідного розміру. Для відділення твердої фази застосовували паперові фільтри «синя стрічка» діаметром 110 мм. В процесі фільтрування оброблені відповідним чином модельні розчини заливали в лійку з фільтрувальним папером та фіксували зміну об'єму фільтрату в часі, підтримуючи рівень суспензії в лійці на максимальному рівні. Визначення знаку заряду часток фосфату кальцію проводили з використанням

суспензійного ефекту [8]. Для цього отриману суспензію відстоювали, освітлений розчин декантували в склянку з електродами рН-метра та вимірювали величину водневого показника. Решту розчину перемішували та вимірювали рН пульпи. Знак різниці $\Delta pH = (pH \text{ розчину} - pH \text{ пульпи})$ свідчив про знак заряду часток фосфату кальцію.

Виклад основного матеріалу. Перший цикл досліджень було присвячено процесам відстоювання суспензії, що утворюється в результаті реакції іонів кальцію з фосфатами і освітлюється досить довго. Проведені дослідження показали (рис. 1), що позитивна дія ПАА починає проявлятися лише при концентраціях флокулянта більше 10 мг/дм³. При менших концентраціях швидкість освітлення навіть нижча, ніж без флокулянта. Причому, при таких незначних концентраціях утворена тверда фаза виглядає як високодисперсна суспензія і візуально являє собою суцільну масу білого кольору. Зафіксувати процеси флокуляції в цьому випадку не вдається.

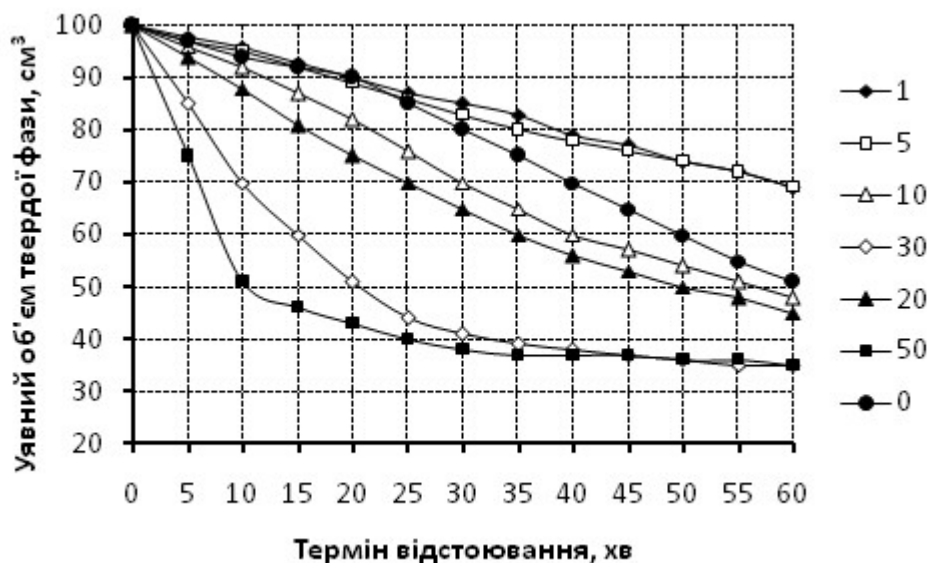


Рис. 1 – Залежність уявного об'єму утвореної твердої фази від терміну відстоювання при використанні різних доз ПАА (мг/дм³), співвідношенні $K = [PO_4^{3-}, \text{мг-екв}]/[Ca^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, початковій жорсткості $J_n = 16,4 \text{ мг-екв/дм}^3$, $pH = 6,57$, $t = 19,7 \text{ }^\circ\text{C}$

Концентрації в 10–20 мг/дм³ суттєво картину не змінюють і зменшують уявний об'єм твердої фази лише на 3–15 %, хоча в об'ємі можливо виділити окремі агрегати, а тверда фаза являє собою пористу спущену масу, котра практично з постійною швидкістю опускається на дно циліндра. Швидкість седиментації твердої фази ще більше зростає при концентраціях флокулянта 30–50 мг/дм³. Варто зауважити, що такі концентрації флокулянтів є надто великими для систем водоочищення, тому подальше їх збільшення навряд чи доцільно, хоча при концентрації 50 мг/дм³ отримані досить хороші результати. Особливо позитивним є той факт, що найбільш інтенсивно процес освітлення при такій концентрації відбувається в перші 10 хв. За цей час уявний об'єм твердої фази зменшується у 2 рази і через 1 год відстоювання стабілізується на величині в 35 см³. Цей факт може мати позитивні наслідки як для процесів відстоювання, так і для процесів фільтрування.

Цікаві результати отримані при використанні флокулянта катіонного типу Magnofloc – 336 (рис. 2). Концентрації на рівні 1 мг/дм³ мають зворотній ефект і тверда фаза осаджується повільніше, ніж без флокулянта. Із збільшенням концентрації флокулянта ефективність його використання також зростає. Найбільш ефективною виявилася доза в 30 мг/дм³. Причому, подальше збільшення концентрації флокулянта до 50 мг/дм³ супроводжується утворенням стабільної розвинутої структури, котра з часом не осідає. Як видно з рис. 2, при концентрації флокулянта в 30 мг/дм³ за 10 хв відстоювання уявний об'єм твердої фази знижується до 30 см³ і на цьому значенні стабілізується. Таким чином, за таких умов процес відстоювання може бути обмеженим 10 хв, що дозволяє суттєво скоротити процес відстоювання та почати процес фільтрування.

Флокулянт аніонного типу Zetag – 7692 по ефективності відстоювання виявився найменше придатним для осадів фосфатів кальцію (рис. 3). Освітлення суспензії відбувається досить повільно, залишковий уявний об'єм твердої фази досить значний. Швидкість освітлення суспензії приблизно однакова для концентрацій флокулянтів 1 – 10 мг/дм³ та без флокулянта. Лише при дозах 30 – 50 мг/дм³ спостерігається незначне (15 – 25 % в порівнянні із освітленням без флокулянта) збільшення швидкості осідання твердої фази. Однак освітлення при таких концентраціях флокулянта надто розтягнуто в часі і зменшення уявного об'єму твердої фази спостерігається протягом всього часу відстоювання, досягаючи через годину 35 см³.

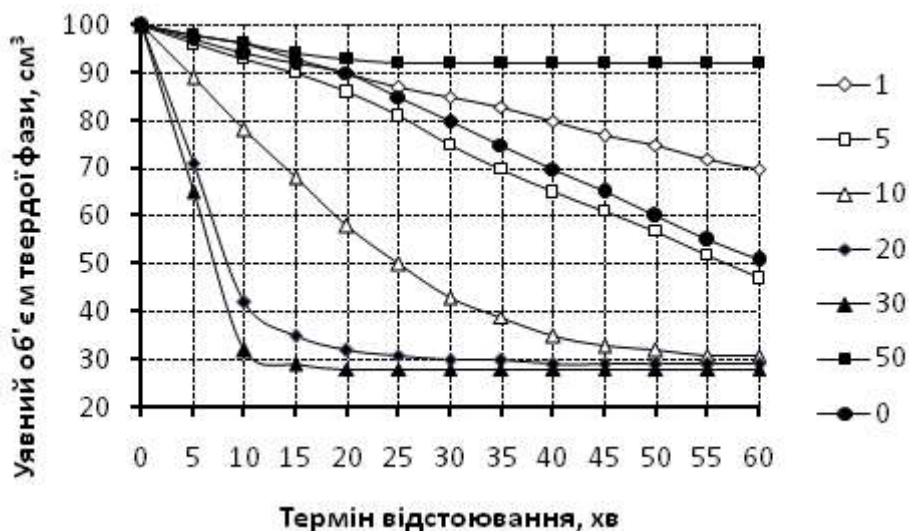


Рис. 2 – Залежність уявного об'єму утвореної твердої фази від терміну відстоювання при використанні різних доз флокулянту Magnofloc – 336 (мг/дм³), співвідношенні $K = [PO_4^{3-}, \text{мг-екв}]/[Ca^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, початковій жорсткості $J_n = 16,9 \text{ мг-екв/дм}^3$, рН = 6,54, $t = 19,8 \text{ }^\circ\text{C}$

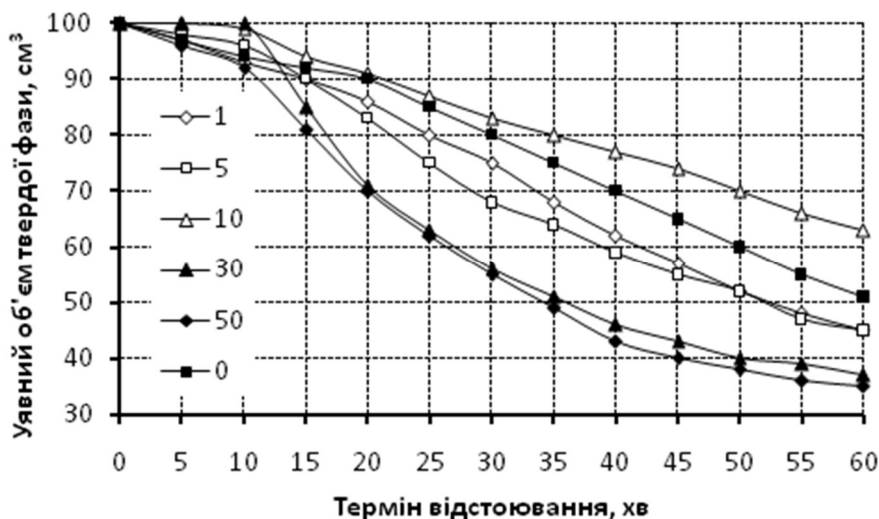


Рис. 3 – Залежність уявного об'єму утвореної твердої фази від терміну відстоювання при використанні різних доз флокулянту Zetag – 7692 (мг/дм³), співвідношенні $K = [PO_4^{3-}, \text{мг-екв}]/[Ca^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, початковій жорсткості $J_n = 17,5 \text{ мг-екв/дм}^3$, рН = 6,48, $t = 19,2 \text{ }^\circ\text{C}$

Таким чином, проведені дослідження дозволяють стверджувати, що найбільш ефективним в процесах освітлення суспензій фосфату кальцію відстоюванням є флокулянт аніонного типу Magnofloc – 336 фірми Ciba. Разом з тим, варто відмітити надто значні концентрації флокулянта та досить значний уявний об'єм твердої

фази після годинного відстоювання. При цьому не обов'язково умови відстоювання автоматично забезпечуватимуть найкращі умови фільтрування. Цьому питанню було присвячено другий етап наших досліджень.

Оскільки тверда фаза утворюється в результаті реакції між двома досить складними реагентами, то її будова та структура в значній мірі може залежати від умов протікання реакції. Очевидно, що найбільший вплив в цьому випадку матиме температура, водневий показник та співвідношення між компонентами. Ці фактори регулюватимуть повноту реакції, утворення кристалічної чи аморфної структури, крупність агрегатів і т.п., що, в свою чергу, впливатиме на ефективність розділення твердої та рідкої фаз фільтруванням.

Як видно з рис. 4, на швидкість фільтрування суттєво впливають лише температури нижче 20 °С. Особливо це помітно при температурі в 5 °С. За такої температури об'єм фільтрату на 8 – 20 хвилин відстає від об'єму фільтрату дистильованої води. При 15 °С ця різниця менше, а при температурах вище 20 °С криві практично накладаються. Це свідчить про те, що в діапазоні температур 20 – 70 °С формуються частки фосфату кальцію, найбільш досконалі для даних умов експерименту.

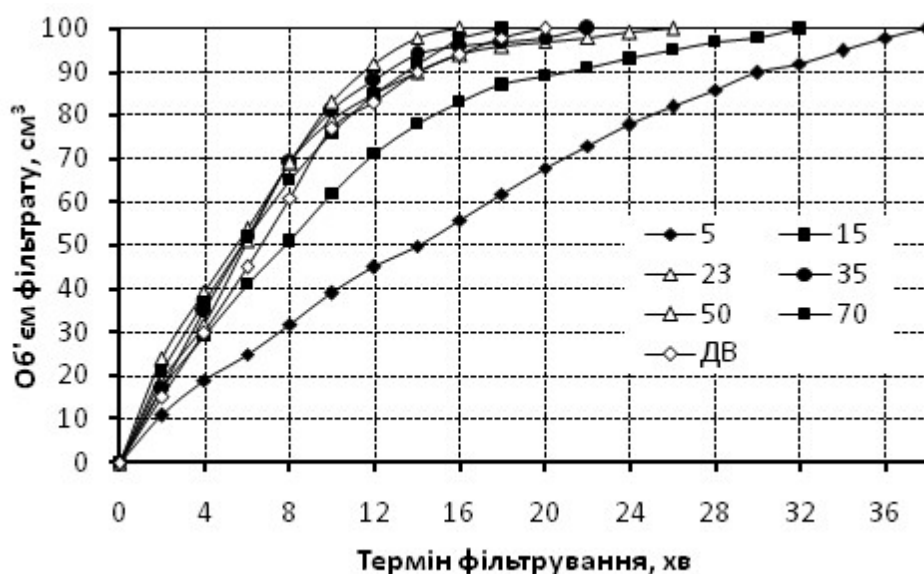


Рис. 4 – Залежність об'єму фільтрату від терміну фільтрування при співвідношенні $K = [PO_4^{3-}, \text{мг-екв}]/[Ca^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, початковій жорсткості $J_n = 10,5 \text{ мг-екв/дм}^3$, $pH = 6,48$ та різних значеннях температури суспензії

Дослідження впливу водневого показника показало (рис. 5), що в діапазоні pH 5 – 9 суттєвого впливу на швидкість фільтрування не спостерігається. Лише в сильно лужному середовищі необхідні терміни фільтрування суттєво зростають, що, на нашу думку, пов'язано із формуванням аморфних часток різноманітного складу. Відповідно, їх дисперсність надто велика і фільтрування супроводжується частковим перекриттям пор фільтрів.

Очевидно, що при різних співвідношеннях компонентів формується тверда фаза різного складу. Підтвердженням цього є той факт, що швидкість фільтрування суспензії при стехіометричному співвідношенні компонентів практично співпадає із кривою зміни швидкості фільтрування дистильованої води за тих же умов (рис. 6). При зміні коефіцієнту K як в бік зменшення, так і в бік збільшення, умови фільтрування суспензії погіршуються. І чим більше значення коефіцієнта K відрізняється від стехіометрії, тим розвинутішу структуру має тверда фаза і тим гірше відбувається її відділення від рідкої фази. Таким чином, для процесів відділення твердої фази фільтруванням найбільш прийнятними є умови з температурою вище 20 °С, стехіометричним співвідношенням компонентів та водневим показником в діапазоні 5 – 9.

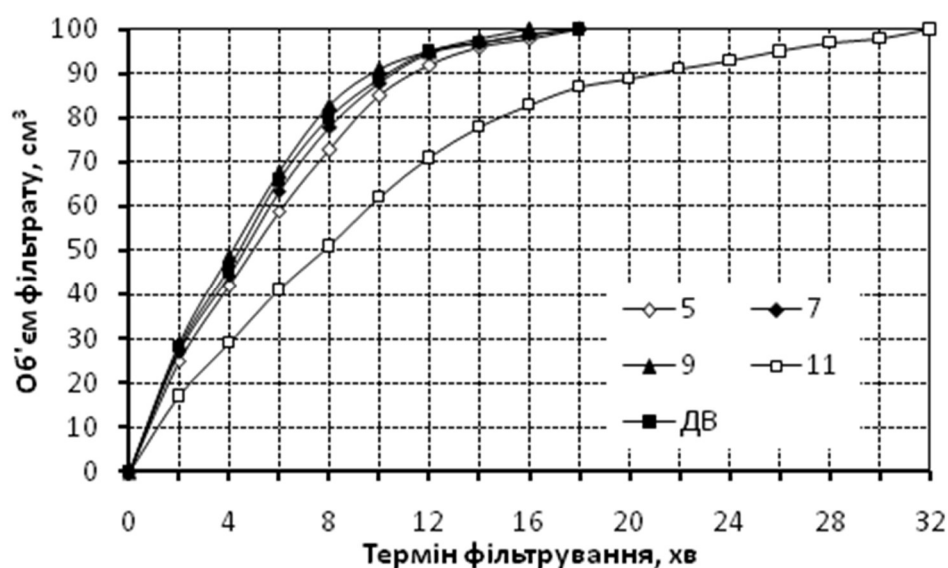


Рис. 5 – Залежність об'єму фільтрату від терміну фільтрування при співвідношенні $K = [PO_4^{3-}, \text{мг-екв}]/[Ca^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, початковій жорсткості $J_n = 10,5 \text{ мг-екв/дм}^3$, температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ та різних значеннях рН суспензії

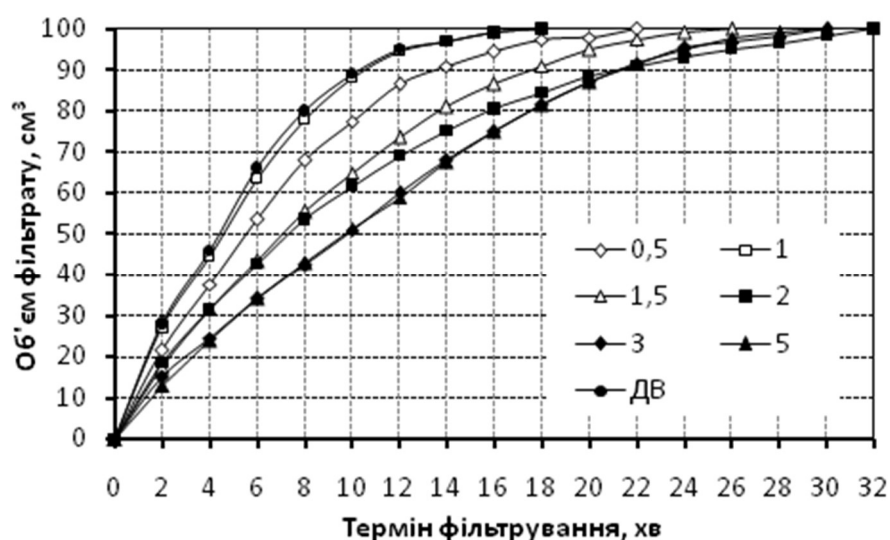


Рис. 6 – Залежність об'єму фільтрату від терміну фільтрування при початковій жорсткості $J_n = 10,5 \text{ мг-екв/дм}^3$, температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$, різних значеннях співвідношення $K = [PO_4^{3-}, \text{мг-екв}]/[Ca^{2+}, \text{мг-екв}]$ та рН суспензії 7,0

Як показали результати визначення знаку поверхневого заряду часток твердої фази, водневий показник краще всього тримати на рівні 7,5 – 8,5 (рис. 7). Саме в цьому діапазоні рН поверхневий заряд часток твердої фази мінімальний, що може сприяти їх агрегації. Причому, із зміною K змінюється і рН нульового заряду твердих часток. Якщо при стехіометричному співвідношенні компонентів він знаходиться при рН 8,15, то для $K = 0,5$ знижується до рН 7,41, а $K = 2$ – зростає до рН 8,64. Як видно з рис. 7, зміна співвідношення компонентів впливає не лише на знак заряду поверхні, а й на його величину. Максимальний заряд поверхні мають частки, отримані при стехіометричному співвідношенні компонентів. Встановлено також, що при рН $\leq 5,5$ спостерігається розчинення свіже осадженого осаду, що зумовлює падіння потенціалу поверхневого заряду.

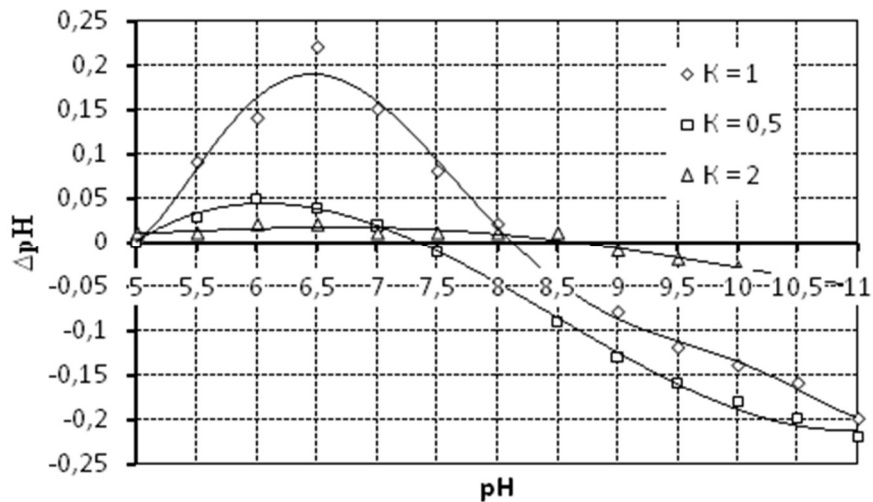


Рис. 7 – Залежність суспензійного ефекту від рН суспензії при вмісті твердої фази 223 мг/дм³ та температурі 21 °С

Подальші експерименти в цьому напрямку показали, що тип та дози флокулянтів, визначені як найбільш ефективні при відстоюванні, не завжди забезпечують аналогічний ефект при фільтруванні (рис. 8). Встановлено, що найбільшу швидкість має фільтрування суспензій без додавання реагентів. Дослідження впливу флокулянтів проведено при їх концентраціях 10 та 30 мг/дм³. Як видно з рис. 8, жоден з різних типів флокулянтів та при різних концентраціях не сприяв підвищенню швидкості фільтрування. Очевидно, значні дози флокулянтів сприяють швидкій коагуляції пористого середовища фільтрів та викликають зниження швидкості транспортування рідкої фази. Зниження дози флокулянтів до 10 мг/дм³ суттєво на ситуацію не вплинуло. Деяко змінюється інтенсивність фільтрування між різними типами флокулянтів, але жоден з них не забезпечує швидкість фільтрування більшу, ніж без додавання реагенту. Тому очевидно, що фільтрування, на відміну від відстоювання, краще проводити без обробки суспензії додатковими реагентами.

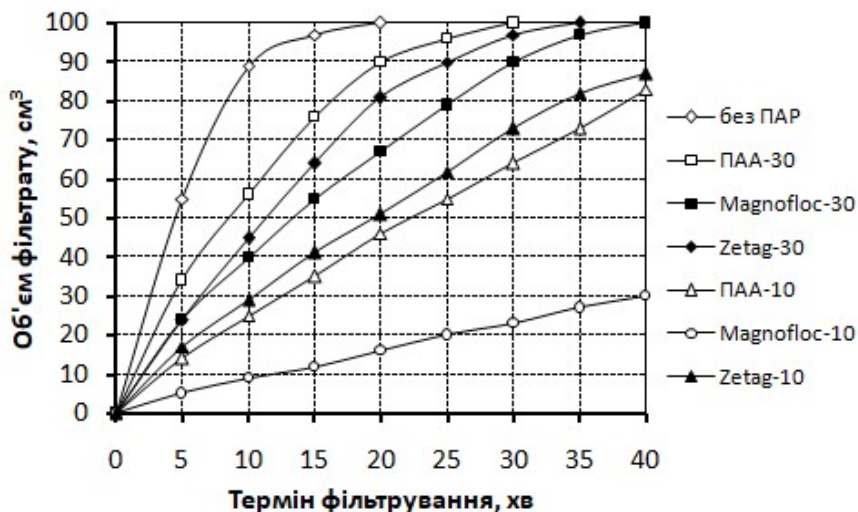


Рис. 8 – Залежність об'єму фільтрату від терміну фільтрування при початковій жорсткості $J_n = 22,3$ мг-екв/дм³, температурі 20 °С, дозі ПАР 10 та 30 мг/дм³, співвідношенні $K = [PO_4^{3-}, \text{мг-екв}]/[Ca^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$ та рН суспензії 7,0

Висновки. Пом'якшення природних вод сьогодні потребує нових досліджень для розробки сучасних ефективних технологій. Використання фосфатів для обробки вод підвищеної жорсткості дозволяє ефективно видаляти іони кальцію. Разом з тим, залишається проблема розділення рідкої та твердої фаз. При відстоювання використання флокулянту аніонного типу Magnofloc – 336 фірми Ciba дозволяє суттєво інтенсифікувати процес освітлення суспензії та зменшити уявний об'єм твердої фази. При відділенні твердої фази фільтруванням значний вплив на його інтенсивність справляють умови її формування. Найбільший вплив справляє температура, водневий показник та співвідношення між компонентами, оскільки вони впливають на формування твердої фази різного складу з різним поверхневим зарядом часток. Жоден із досліджених флокулянтів різних типів не показав при фільтруванні збільшення ефективності, що робить їх використання недоцільним. Для процесів відділення твердої фази фільтруванням найбільш прийнятними є умови з температурою вище 20 °С, стехіометричним співвідношенням компонентів та водневим показником в діапазоні рН 5 – 9.

Перспективи подальших досліджень. Природні води завжди містять одночасно іони кальцію та магнію, котрі намагаються видалити із води при пом'якшенні. Для підтвердження отриманих результатів щодо іонів кальцію аналогічні дослідження необхідно провести і для іонів магнію. Саме в цьому напрямку будуть проводитись подальші дослідження.

Список використаної літератури

1. Рябчиков Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования – М.: ДеЛи принт, 2004. – 301 с.
2. Карелин В.А. Водоподготовка. Физико-химические основы процессов обработки воды: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 97 с.
3. Лифшиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок / Справочник. Москва: Энергия, 1980. – 288 с.
4. Дикаревский В. С., Караваев И. И. Обработка воды для теплоэнергетических установок ж/д транспорта. – Москва: Транспорт, 1986. – 460 с.
5. Радовенчик, Я. В., Гордієнко, К. Ю., Радовенчик, В. М., Крисенко, Т. В. Особливості хімічного висадження іонів кальцію з розведених водних розчинів // Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. №2. С. 72–78.
6. Шаблій Т. О., Радовенчик В. М., Гомеля М. Д. Застосування нових реагентів і технологій в промисловому водоспоживанні. – К.: Інфодрук, 2014. – 302 с.
7. Гордієнко К. Ю., Радовенчик Я. В., Крисенко Т. В., Радовенчик В. М. Ефективність видалення з водних розчинів іонів кальцію фосфатами. The 13th International scientific and practical conference “Innovations and prospects of world science” (August 17-19, 2022) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2022. - p. 75-81.
8. Левицкий Э. А. Определение знака заряда коллоидных частиц в коагулированных системах при помощи рН-метра // Коллоидный журнал. 1960. XXII, №3. С. 382 – 383.

Vyacheslav Radovenchyk, Katerina Gordienko, Yaroslav Radovenchyk, Tamara Krysenko

USE OF SURFACTANTS FOR EFFICIENT REMOVAL OF CALCIUM PHOSPHATE PARTICLES FROM WATER

Today, softening of water in offices and private homes is mainly carried out by the ion exchange method, despite its significant negative impact on the hydrosphere. The development of alternative safe technologies in this field is extremely relevant today. Such an alternative can be considered the use of effective reagents that transfer hardness ions into the solid phase.

The use of phosphates as such reagents allows, depending on the conditions, to reduce the residual hardness of water to the level of 0.1 mg-eq/dm³ or less. An important problem of this technology is the efficiency of separating the solid phase from the mother liquor. This step can be implemented by advocating or filtering. Using model calcium solutions treated with appropriate doses of sodium phosphate and flocculants, the most effective of them in settling processes were selected. As flocculants, polyacrylamide was used - as a nonionic flocculant, Magnofloc - 336 from Ciba - as an anionic flocculant, Zetag - 7692 from Ciba - as a cationic flocculant.

The flocculant Magnofloc - 336 turned out to be the most effective in settling highly dispersed particles of calcium phosphate. At a flocculant concentration of 30 mg/dm³ for 10 min of settling, the apparent volume of the solid phase

decreases to 30 % of the initial volume of the suspension and stabilizes at this value. Other types of flocculants and other doses were less effective.

A somewhat different situation is observed when separating the solid phase by filtration. The greatest influence on the filtration rate is caused by the temperature, the hydrogen index and the ratio between the components. Only temperatures below 20 °C significantly affect the rate of filtration. This is especially noticeable at a temperature of 5 °C. At this temperature, the volume of filtrate is 8-20 minutes behind the volume of filtrate of distilled water. At 15 °C, this difference is smaller, and at temperatures above 20 °C, the curves generally overlap. In the pH range of 5-9, there is no significant effect on the filtration rate. Only in a strongly alkaline environment do the necessary filtering times increase significantly, which, in our opinion, is due to the formation of a significant number of amorphous particles of various composition, which can block the pores of the filters. With the stoichiometric ratio of the components, the curve of the change in the filtration rate practically coincides with the curve of the change in the filtration rate of distilled water under the same conditions. When the ratio changes both downward and upward, the conditions for filtering the suspension deteriorate. And the more the ratio differs from stoichiometry, the more developed the structure of the solid phase is and the worse its separation from the liquid phase is. As the ratio between the components changes, so does the pH of the zero charge of the solid particles. If the stoichiometric ratio of the components is at pH 8.15, then when the ratio decreases to 0.5, it decreases to pH 7.41, and when it increases to 2, it increases to pH 8.64. A change in the ratio of components affects not only the sign of the surface charge, but also its magnitude, which cannot help but affect the efficiency of solid phase separation. The type and dosage of flocculants determined to be most effective in settling do not always provide the same effect in filtration. Suspensions without the addition of flocculants have the highest filtration speed. The study of the effect of flocculants at their concentrations of 10 and 30 mg/dm³ showed that none of its different types and at their different concentrations contributes to an increase in the filtration rate. Obviously, significant doses of flocculants contribute to the rapid calming of the porous medium of the filters and cause a decrease in the rate of transport of the liquid phase.

The obtained results make it possible to determine effective reagents for removing calcium ions from natural waters and the optimal conditions for their use and serve as a basis for the development of effective and environmentally safe technologies for softening natural waters.

Keywords: softening, calcium, flocculant, settling, filtration, surface charge.

References

1. Ryabchikov B.E. (2004). "Modern methods of water treatment for industrial and domestic use" M.: DeLi print. - 301 p.
2. 3. Karelin V. A. (2012). "Water treatment. Physico-chemical bases of water treatment processes: a textbook". - Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House,. - 97 p.
3. 4. Lifshitz O. V. (1980). Handbook of water treatment of boilers. - Moscow: Energy,. - 288 p.
4. 5. Dikarevsky V. S., Karavaev I. I. (1986). "Water treatment for thermal power plants of railway transport. - Moscow: Transport". 460 p.
5. Radovenchyk, Ya. V., Hordiienko, K. Yu., Radovenchyk, V. M., Krysenko, T. V. (2022). "Peculiarities of chemical deposition of calcium ions from dilute aqueous solutions", *Visnyk NTUU «KPI imeni Ihoria Sikorskoho»*. Seriya: *Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia*, no 2, pp. 72–78.
6. 6. Shabliy T. O., Radovenchyk V. M., Gomelya M. D. (2014). "Application of new reagents and technologies in industrial water consumption". K. : Infodruk,. - 302 p.
7. Hordiienko K. Yu., Radovenchyk Ya. V., Krysenko T. V., Radovenchyk V. M. (2022). "Efficiency of removal of calcium ions from aqueous solutions by phosphates". *The 13th International scientific and practical conference "Innovations and prospects of world science" (August 17-19, 2022) Perfect Publishing, Vancouver, Canada*, p. 75-81.
8. Levickij, E. A. (1960), "Opređenje znaka zaryada kolloidnyh chastic v koagulirovannyh sistemah pri pomoshi pH-metra" [Determining the sign of the charge of colloidal particles in coagulated systems using a pH-meter], *Kolloidnyj zhurnal*, no 3, pp. 382 – 383.