

УДК 628.164-926.41

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

ВИКОРИСТАННЯ ФЛОКУЛЯНТІВ В ПРОЦЕСАХ ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

Погіршення якості природних вод з кожним роком викликає все більшу стурбованість фахівців та пересічних громадян. Дефіцит води в окремих регіонах та невтішні прогнози на забезпеченість людства водою в майбутньому переводять проблеми гідросфери в категорію катастрофічних. Мінералізація природних вод в результаті антропогенних та природних факторів складає сьогодні одну з найбільш гострих проблем водозабезпечення. Пом'якшення води шляхом видалення іонів кальцію та магнію дозволяє частково вирішувати цю проблему. Найбільшого поширення сьогодні отримали реагентні методи пом'якшення, в яких в якості осаджувача застосовують фосфати, здатні утворювати з іонами кальцію та магнію малорозчинні у воді сполуки. Зважаючи на високу дисперсність частинок твердої фази, утворених в результаті такої обробки, виникають проблеми ефективного розділення рідкої та твердої фаз. Використання флокулянтів дозволяє інтенсифікувати процес фільтрування, попередити закупорювання пор фільтру твердими частками, скоротити тривалість технологічного процесу. В процесі дослідження нами вивчено вплив на розділення фаз різних типів флокулянтів - поліакриламід - як неіоногенного флокулянту, Magnofloc – 336 фірми Ciba – як флокулянту аніонного типу, Zetag – 7692 фірми Ciba – як флокулянту катіонного типу. Модельні розчини містили приблизно однакову кількість іонів кальцію та магнію загальною жорсткістю 27 мг-екв/дм³ і оброблялися еквівалентною кількістю фосфату натрію в суміші з флокулянтом дозою 1 – 80 мг/дм³. Проведені дослідження показали, що при відстоюванні додавання поліакриламід у концентраціях 1 – 10 мг/дм³ не супроводжується позитивним ефектом. Після відстоювання протягом 1 год уявний об'єм твердої фази на 30 – 40 % перевищує аналогічний показник без обробки флокулянтом. Відчутний ефект спостерігається лише при дозах флокулянту 30 – 80 мг/дм³. Причому, в останньому випадку освітлення відбувається досить швидко і протягом 10 хв уявний об'єм твердої фази досягає свого мінімуму і при подальшому відстоюванні змінюється дуже мало. При фільтруванні ж додавання флокулянту лише гальмує процес відділення твердої фази і значно подовжує отримання пом'якшеної рідкої фази. Додавання флокулянта навіть в концентраціях 1 мг/дм³ негативно впливає на параметри процесу фільтрування. Тому можливо однозначно стверджувати, що для систем малої та середньої продуктивності (а в них передбачається використовувати саме фільтрування) поліакриламід в якості інтенсифікатора процесу розділення фаз використовуватися не може. За тих же умов ефективність флокулянту аніонного типу Magnofloc – 336 при відстоюванні децю вища в порівнянні з поліакриламідом. При дозі флокулянту 30 – 80 мг/дм³ основна маса твердої фази осідає протягом 5 хв і формує об'єм біля 30 см³. Без флокулянта пом'якшені води такої жорсткості освітлюються дуже повільно. Тому очевидно, що при відстоюванні цей флокулянт може бути використаний при умові відповідного співвідношення в початковому розчині іонів кальцію та магнію. Флокулянт даного типу виявився більш ефективним і при фільтруванні. Традиційно значні дози флокулянту (30 – 80 мг/дм³) гальмують процес фільтрування. При меншій концентрації ефект спостерігається суттєвіший. Так, при концентраціях флокулянту 1 – 10 мг/дм³ спостерігається збільшення швидкості фільтрування і наближення її значення до параметрів фільтрування дистильованої води. Такий результат можна вважати позитивним як з точки зору підвищення ефективності процесу, так і з точки зору меншої витрати реагентів. Флокулянт катіонного типу Zetag – 7692 при відстоюванні позитивним ефектом не відзначився. В порівнянні з іншими флокулянтами, Zetag – 7692 не забезпечує різниці в швидкостях відстоювання для різних концентрацій. Фактично, вплив флокулянта на утворену тверду фазу досить незначний. Те ж можна сказати і про вплив даного флокулянту на швидкість фільтрування. В діапазоні концентрацій флокулянта 1 – 80 мг/дм³ всі точки графіків на 5 – 10 % відрізняються від кривої швидкості фільтрування без флокулянта і далекі від кривої фільтрування дистильованої води. Таким чином, флокулянт даного типу не забезпечує позитивного ефекту в процесі розділення рідкої та твердої фаз і його використання в процесах пом'якшення є мало перспективним. Таким чином, в процесах пом'якшення рекомендується використання флокулянту аніонного типу Magnofloc – 336 в концентраціях 1 – 10 мг/дм³ для інтенсифікації процесу розділення фаз.

Ключові слова: пом'якшення, кальцій, магній, флокулянт, фільтрування

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2023.288254

* Corresponding author: dey85@ukr.net

Received 22 August 2023; Accepted 14 September 2023

Постановка проблеми. Інтенсивне забруднення природних вод супроводжується сьогодні катастрофічним погіршенням їх якості та необхідністю обов'язкового попереднього очищення перед споживанням чи використанням. На жаль, така ситуація характерна не лише практично для всіх поверхневих

вод, а й для більшої частини підземних вод. На фоні загального забруднення природних вод особливо виділяється збільшення мінералізації, значну частину котрої формують сполуки кальцію та магнію. Саме вказані елементи відповідальні за важливий параметр води - жорсткість. Крім природного вмісту сполук кальцію та магнію, значна їх частина надходить в природні води в результаті антропогенної діяльності – скид шахтних вод, перекачування вод з підземних горизонтів, скид в гідросферу жорстких стічних вод. Тому цей параметр природних вод змінюється в широких межах як територіально, так і в часі. Не є виключенням і територія України. Як стверджують автори [1], для нашої країни характерна тенденція росту жорсткості води в гідросфері в напрямку з північного заходу на південний схід. Наприклад, якщо води Дніпра мають природну жорсткість на рівні 4 – 5 мг-екв/дм³, то у водах річок Приазов'я вона зростає до 15 – 30 мг-екв/дм³. Жорсткість води мінлива навіть в масштабах більш об'ємних водойм. Наприклад, для вод Світового океану середня загальна жорсткість складає біля 130,5 мг-екв/дм³, а для вод Чорного та Каспійського морів вона знижується до 65,5 мг-екв/дм³ та 66,4 мг-екв/дм³ відповідно.

Варто також звернути увагу на той факт, що мінливим є також співвідношення між кальцієвою та магнієвою жорсткостями. Для більшості поверхневих водойм магнієва жорсткість коливається на межі 30 % від загальної. Однак і тут не обійшлося без виключення. Наприклад, в багатьох поверхневих водоймах Донбасу вона може зростати до 60 %, а для Світового океану в цілому – майже до 83 %. Якщо зважити на формування сьогодні антропогенних циклів кругообігу солей жорсткості, то очевидно, що з кожним роком ця проблема буде загострюватися і вимагатиме термінового вирішення цього важливого практичного завдання.

Аналіз попередніх досліджень. Чинними нормативними документами України показник загальної жорсткості води для споживання людиною обмежується на рівні в 7 мг-екв/дм³ [2]. При цьому, згідно цього ж документу, показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води рекомендовані на рівні 1,5 мг-екв/дм³ для мінімальної загальної жорсткості та концентрації іонів кальцію в межах 25 – 75 мг/дм³, магнію в межах 10 – 50 мг/дм³. Надзвичайно гостро проблема пом'якшення води стоїть на промислових підприємствах, де вимогам до жорсткості води приділяють надзвичайно багато уваги. Так, в харчовій промисловості застосовують, зазвичай, воду з жорсткістю на рівні 0,1 – 0,2 мг-екв/дм³, а в енергетиці - взагалі на рівні 0,03 – 0,05 мг-екв/дм³ [3]. Тому для цих галузей пом'якшення природних вод є обов'язковим. Содово – вапняна або содово – натрієва технологія пом'якшення природних вод набула сьогодні найбільшого поширення. Метою пом'якшення є видалення іонів кальцію та магнію, тому жорстку воду обробляють в два етапи: на першому карбонатом натрію видаляють іони кальцію, на другому - вапном або гідроксидом натрію осаджують іони магнію [4]. Обидва технологічні процеси потребують тривалого відстоювання для відділення твердої фази, наступного коригування водневого показника обробленої води до нейтральних значень. Разом з тим, для технології не характерна висока ефективність – мінімальна залишкова жорсткість води може бути доведена до 0,5 – 1,0 мг-екв/дм³ при температурі води 35 – 40 °С.

Не менш гостро стоїть наукова проблема пом'якшення води в офісах та приватних будинках і квартирах, яка і на сьогодні залишається не вирішеною. Зважаючи на невелику продуктивність систем пом'якшення за даних умов, найбільшого поширення тут набули іонообмінні установки [5]. Незважаючи на високу ефективність, технологія має ряд суттєвих негативних наслідків. Для регенерації іоніту в таких установках застосовують 6 – 8 %-ий розчин NaCl, котрий після використання скидають в каналізаційні системи чи гідросферу. Разом з вилученими іонами кальцію та магнію в довілля скидається значна кількість хлориду натрію [6]. Близько 20 – 30 % пом'якшеної води використовується на власні потреби установки [7]. Оскільки з кожним роком популярність таких малопотужних систем зростає, відповідно зростає і їх негативний вплив на гідросферу. Без сумніву, гострота та актуальність проблеми з кожним роком все більше вимагатиме її вирішення.

Формулювання мети статті. Попередніми дослідженнями [8] нами встановлено, що ефективно пом'якшення води содово – натрієвим методом при низьких температурах та без етапу відстоювання можливе лише при значній перевитраті осаджувача. При цьому процес освітлення води проходить нестабільно, тверді частинки осідають повільно і займають значний об'єм, а мінімальна залишкова жорсткість води перевищує 0,6 мг-екв/дм³. Тому можливість застосування содово – натрієвого методу в установках низької та середньої продуктивності видається досить сумнівною. Раніше нами досліджено можливість використання фосфату натрію для осадження іонів кальцію та магнію [9, 10]. Встановлено, що при досить високій ефективності суттєвою проблемою залишається розділення рідкої та твердої фаз. Дана робота присвячена вивченню впливу різних факторів на формування твердої фази та ефективності використання різноманітних типів флокулянтів в процесах розділення фаз при пом'якшенні води.

Методика роботи. Суть дослідження полягала в приготуванні модельних розчинів із різним вмістом іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} та обробці їх різними дозами реагентів при різних співвідношеннях компонентів та різних значеннях рН і температури. Вміст іонів кальцію в модельних розчинах складав 11 мг-екв/дм^3 , магнію – 16 мг-екв/дм^3 . Причому, фільтрування проводили без відстоювання. Осад відфільтровували відразу після осадження на «синій стрічці» та визначали залишкову жорсткість розчину шляхом титрування з використанням еріхромного чорного Т та трилону Б. Процес відстоювання використовували для визначення ступеню сформованості осаду при різних умовах. При вивченні ефективності флокулянтів попередньо приготувані модельні розчини обробляли відповідною сумішшю фосфату натрію та флокулянта. При цьому доза фосфату натрію залишалася постійною і відповідала стехіометрії, а доза флокулянта змінювалася в межах $0 - 80 \text{ мг/дм}^3$. 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 см^3 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 максимальній позначці.

Виклад основного матеріалу. Проведені дослідження показали, що при відстоюванні додавання ПАА в концентраціях $1 - 10 \text{ мг/дм}^3$ не супроводжується позитивним ефектом (рис. 1). Після відстоювання протягом 1 год уявний об'єм твердої фази на $30 - 40 \%$ перевищує аналогічний показник без обробки флокулянтом. Відчутний ефект спостерігається лише при дозах флокулянту $30 - 80 \text{ мг/дм}^3$. Причому, в останньому випадку освітлення відбувається досить швидко і протягом 10 хв уявний об'єм твердої фази досягає свого мінімуму і при подальшому відстоюванні змінюється дуже мало.

На жаль, не такі позитивні результати отримані для фільтрування утвореної твердої фази через фільтр «біла стрічка» (рис. 2). Низька ефективність ПАА була зафіксована і при видаленні твердої фази, утвореної окремо фосфатами кальцію та фосфатами магнію. Тому сподіватися на позитивний результат і при спільному їх осадженні було б передчасно. Разом з тим, при відстоюванні він цілком може забезпечити достатню ефективність.

При фільтруванні ж додавання флокулянту лише гальмує процес відділення твердої фази і значно подовжує отримання пом'якшеної рідкої фази. Як видно з отриманих результатів (рис. 2), додавання флокулянта навіть в концентраціях 1 мг/дм^3 негативно впливає на параметри процесу фільтрування. Тому можливо однозначно стверджувати, що для систем малої та середньої продуктивності (а в них передбачається використовувати саме фільтрування) ПАА в якості інтенсифікатора процесу розділення фаз використовуватися не може.

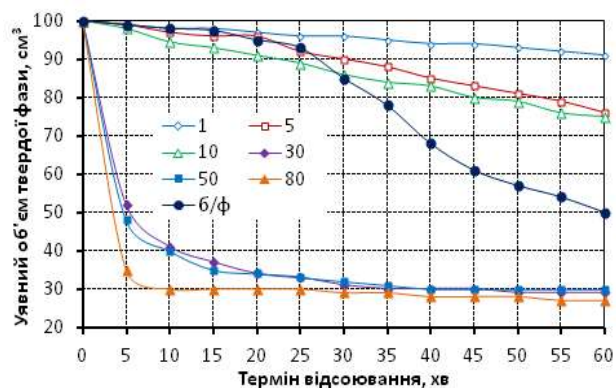


Рис. 1 – Залежність швидкості відстоювання суспензії в часі при $K = [\text{PO}_4^3, \text{ мг-екв}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{ мг-екв}] = 1$, різних концентраціях ПАА (мг/дм^3), температурі розчину $21 \text{ }^\circ\text{C}$, початковій жорсткості $27,0 \text{ мг-екв/дм}$, $\text{pH}_n = 7,4$ (б/ф – без флокулянта)

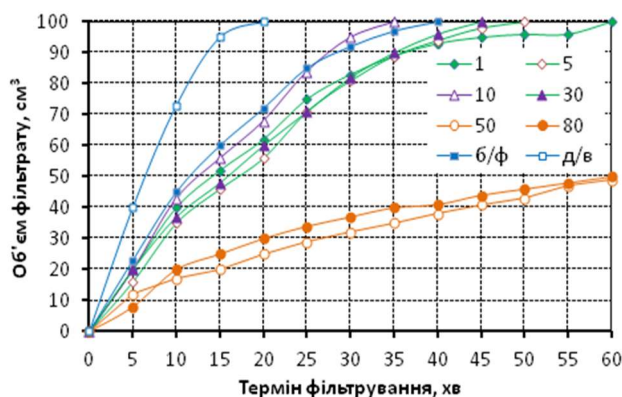


Рис. 2 – Залежність швидкості фільтрування суспензії в часі при $K = [\text{PO}_4^3, \text{ мг-екв}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{ мг-екв}] = 1$, різних концентраціях ПАА (мг/дм^3), температурі розчину $21 \text{ }^\circ\text{C}$, початковій жорсткості $27,0 \text{ мг-екв/дм}$, $\text{pH}_n = 7,4$ (б/ф – без флокулянта, д/в – дистильована вода)

На наступному етапі ми дослідили ефективність за тих же умов флокулянту аніонного типу Magnofloc – 336. Як видно з рис. 3, ефективність при відстоюванні даного флокулянту дещо вища в порівнянні з ПАА. При дозі флокулянту 30 – 80 мг/дм³ основна маса твердої фази осідає протягом 5 хв і формує об'єм біля 30 см³. Без флокулянту пом'якшені води такої жорсткості освітлюються дуже повільно. Тому очевидно, що при відстоюванні цей флокулянт може бути використаний при умові відповідного співвідношення в початковому розчині іонів кальцію та магнію (в нашому випадку Ca²⁺ - 11 мг-екв/дм³, Mg²⁺ - 17 мг-екв/дм³).

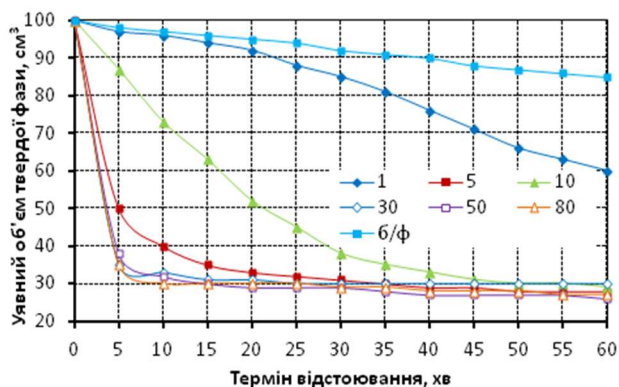


Рис. 3 – Залежність швидкості відстоювання суспензії в часі при $K = [\text{PO}_4^3, \text{мг-екв}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, різних концентраціях Magnofloc – 336 (мг/дм³), температурі розчину 21 °С, початковій жорсткості 27,0 мг-екв/дм, рН_п = 7,4 (б/ф – без флокулянта)

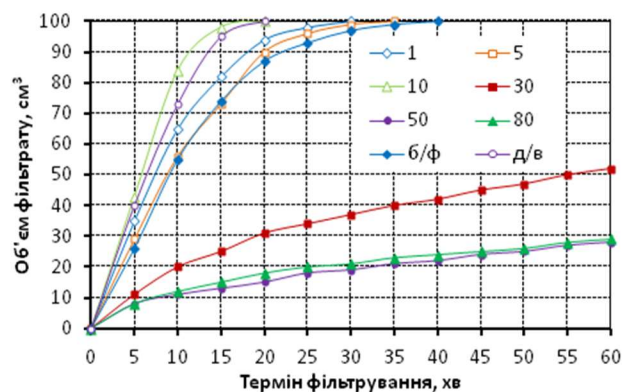


Рис. 4 – Залежність швидкості фільтрування суспензії в часі при $K = [\text{PO}_4^3, \text{мг-екв}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, різних концентраціях Magnofloc – 336 (мг/дм³), температурі розчину 21 °С, початковій жорсткості 27,0 мг-екв/дм, рН_п = 7,4 (б/ф – без флокулянта, д/в – дистильована вода)

Більш важливим в нашому випадку є вплив флокулянту на процес фільтрування. Як видно з рис. 4, флокулянт аніонного типу виявився більш ефективним в порівнянні з ПАА. Традиційно значні дози флокулянту (30 – 80 мг/дм³) гальмують процес фільтрування. При меншій концентраціях ефект спостерігається суттєвіший. Так, при концентраціях флокулянту 1 – 10 мг/дм³ спостерігається збільшення швидкості фільтрування і наближення її значення до параметрів фільтрування дистильованої води.

Такий результат можна вважати позитивним як з точки зору підвищення ефективності процесу, так і з точки зору меншої витрати реагентів. Після більш детальних досліджень на реальних водах відповідної жорсткості та хімічного складу флокулянт аніонного типу Magnofloc – 336 може бути рекомендований для використання в системах пом'якшення малої та середньої продуктивності, де основним етапом відділення твердої фази застосовується фільтрування.

Флокулянт катіонного типу Zetag – 7692 при відстоюванні позитивним ефектом не відзначився (рис. 5). Не встановлено якоїсь чіткої залежності швидкості освітлення від дози флокулянта, а зафіксовані зміни знаходяться в межах похибки експерименту. Очевидно, що більш чітку різницю можна зафіксувати при тривалішому відстоюванні, однак з практичної точки зору великого значення це не матиме. Тому ми обмежилися відстоюванням протягом години. В порівнянні з іншими флокулянтами, Zetag – 7692 не забезпечує різниці в швидкостях відстоювання для різних концентрацій. Фактично, вплив флокулянта на утворену тверду фазу досить незначний.

Те ж можна сказати і про вплив даного флокулянту на швидкість фільтрування (рис. 6). В діапазоні концентрацій флокулянта 1 – 80 мг/дм³ всі точки графіків на 5 – 10 % відрізняються від кривої швидкості фільтрування без флокулянта і далекі від кривої фільтрування дистильованої води. Таким чином, флокулянт даного типу не забезпечує позитивного ефекту в процесі розділення рідкої та твердої фаз і його використання в процесах пом'якшення є мало перспективним.

Таким чином, найкращі результати фільтрування в зазначених умовах забезпечує флокулянту аніонного типу Magnofloc – 336. Підтвердженням таких висновків є і отримані результати при використанні суміші флокулянтів Magnofloc – 336 та Zetag – 7692 (рис. 7 – 8). В дослідженнях використано розчини з приблизно однаковим вмістом іонів кальцію та магнію. Концентрація флокулянтів підтримувалася на попередньому рівні з тією лише різницею, що складалася із суміші обох флокулянтів в рівних долях.

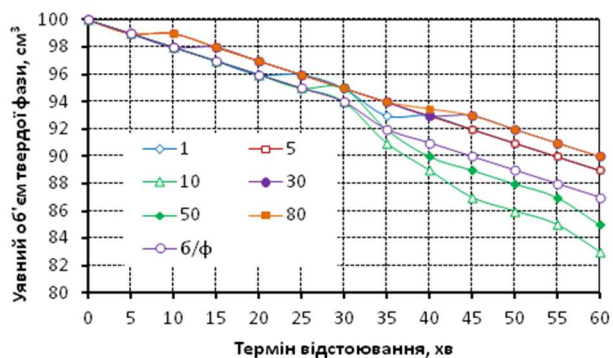


Рис. 5 – Залежність швидкості відстоювання суспензії в часі при $K = [\text{PO}_4^3, \text{мг-екв}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, різних концентраціях Zetag - 7692 (мг/дм³), температурі розчину 21 °С, початковій жорсткості 27,0 мг-екв/дм, рН_п = 7,4 (б/ф – без флокулянта)

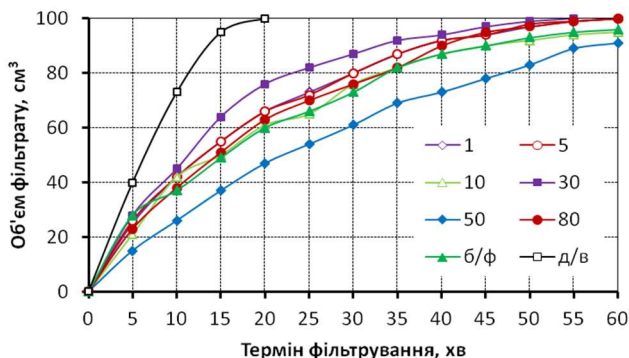


Рис. 6 – Залежність швидкості відстоювання суспензії в часі при $K = [\text{PO}_4^3, \text{мг-екв}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, різних концентраціях Zetag - 7692 (мг/дм³), температурі розчину 21 °С, початковій жорсткості 27,0 мг-екв/дм, рН_п = 7,4 (б/ф – без флокулянта)

Як видно з рис. 7, інтенсивність освітлення утвореної суспензії практично не відрізняється від аналогічного показника для Magnofloc – 336 і навіть ПАА. Причому, уявний об'єм твердої фази після годинного відстоювання практично однаковий для суміші та зазначених вище флокулянтів при окремому використанні.

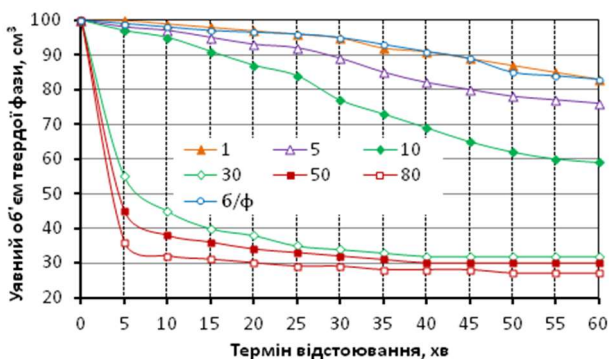


Рис. 7 – Залежність швидкості відстоювання суспензії в часі при $K = [\text{PO}_4^3, \text{мг-екв}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, різних концентраціях суми флокулянтів Zetag - 7692 та Magnofloc – 336 (50 % + 50 %, мг/дм³), температурі розчину 21 °С, початковій жорсткості 27,0 мг-екв/дм, рН_п = 7,4 (б/ф – без флокулянта)

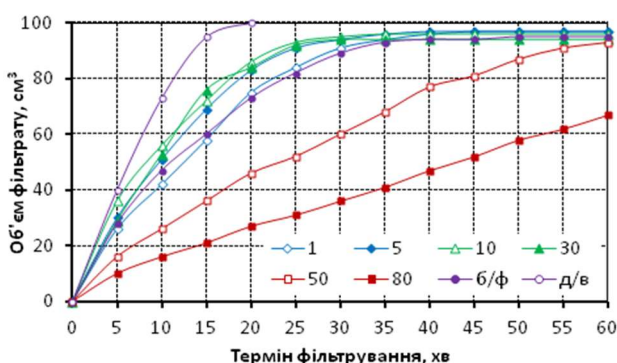


Рис. 8 – Залежність швидкості фільтрування суспензії в часі при $K = [\text{PO}_4^3, \text{мг-екв}]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{мг-екв}] = 1$, різних концентраціях суми флокулянтів Zetag - 7692 та Magnofloc – 336 (50 % + 50 %, мг/дм³), температурі розчину 21 °С, початковій жорсткості 27,0 мг-екв/дм, рН_п = 7,4 (б/ф – без флокулянта, д/в – дистильована вода)

Подібна картина спостерігається і при відділенні твердої фази фільтруванням. Як видно з рис. 8, концентрації суміші флокулянтів вище 50 мг/дм³ суттєво гальмують процес фільтрування, хоча концентрації в 5 – 30 мг/дм³ забезпечують позитивний результат. При цьому швидкості фільтрування дещо нижчі за швидкості фільтрування дистильованої води, але більші від швидкостей фільтрування суспензії без обробки флокулянтами. Очевидно, що ефективність фільтрування буде залежати від співвідношення флокулянтів в суміші та співвідношення між вмістом іонів кальцію та магнію у воді, що пом'якшується. Конкретні параметри процесу пом'якшення вибираються в кожному конкретному випадку в залежності від параметрів вихідної води та продуктивності фільтрувального обладнання.

Висновки. Проведені дослідження по підбору флокулянтів для інтенсифікації процесів розділення фаз при пом'якшенні води показали, що найбільш прийнятним є використання флокулянтів аніонного типу з молекулярною масою біля 20 млн. в.о. Флокулянти катіонного типу та неіоногенні виявилися малоефективними і лише гальмували процеси фільтрування, хоча в процесах відстоювання інколи показували

задовільний результат. Для флокулянтів аніонного типу за приведених умов найбільш прийнятною виявилися концентрації в 1 – 10 мг/дм³. Підвищення дози флокулянта гальмує процеси фільтрування.

Перспективи подальших досліджень. На даному етапі досліджень залишилися не вивченими вплив флокулянтів на жорсткі води при різних співвідношеннях іонів кальцію та магнію, при різних співвідношеннях флокулянтів, вплив водневого показника, температури та інших факторів. Саме цим питанням буде приділено нашу увагу в майбутніх дослідженнях.

Список використаної літератури

1. Горєв Л. М., Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Гідрохімія України. — К.: Вища школа, 1995. — 307 с.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" - Наказ Міністерства охорони здоров'я України 12.05.2010 р. № 400.
3. Долінський А.А., Ободович О.М., Сидоренко В.В., Лимар А.Ю. Особливості водопідготовки для котельних, Теплофізика та Теплоенергетика, 43(4), 2021, С. 17-24. <https://doi.org/10.31472/tpe.4.2021.2>
4. Гомеля М.Д., Шаблій Т. О., Вембер В.В., Твердохліб М.М. Кондиціонування води для промисловості: лабораторний практикум. – Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», 2022. 58 с.
5. Jennifer N. Apell, Treavor H. Boyer. Combined ion exchange treatment for removal of dissolved organic matter and hardness. Water Research, Volume 44, Issue 8, April 2010, Pages 2419-2430. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.01.004>
6. Шаблій Т. О., Радовенчик В. М., Гомеля М. Д. Застосування нових реагентів і технологій в промисловому водоспоживанні. – К.: Інфодрук, 2014. 302 с.
7. Noreddine Ghaffour, Thomas M. Missimer, Gary L. Amy. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability, Desalination, Volume 309, 15 January 2013, Pages 197-207.
8. Радовенчик, Я. В., Гордієнко, К. Ю., Радовенчик, В. М., & Крисенко, Т. В. (2022). Особливості хімічного висадження іонів кальцію з розведених водних розчинів. Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (2), 72–78. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2022.260353>
9. Радовенчик Я. В., Гордієнко К. Ю., Крисенко Т. В., Радовенчик В. М. Ефективність видалення іонів магнію з води в процесах її пом'якшення. Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. № 4. С. 88–94. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2022.269815>.
10. Гордієнко К., Радовенчик Я., Крисенко Т., Радовенчик В. Ефективність висадження іонів кальцію з розведених водних розчинів у вигляді фосфатів // Вісник Хмельницького національного університету, №5, 2022 (313). С. 134 – 140.

Kateryna Hordiienko, Yaroslav Radovenchik,

USE OF FLOCCULANTS IN PROCESSES WATER SOFTENING

Deterioration of the quality of natural waters every year causes increasing concern of specialists and ordinary citizens. The shortage of water in certain regions and the disappointing forecasts for the supply of water for humanity in the future transfer the problems of the hydrosphere into the category of catastrophic. Mineralization of natural waters as a result of anthropogenic and natural factors is one of the most acute problems of water supply today. Water softening by removing calcium and magnesium ions allows you to partially solve this problem. Today, reactive methods of softening, in which phosphates are used as a precipitant, are able to form compounds with calcium and magnesium ions that are poorly soluble in water. Due to the high dispersion of solid phase particles formed as a result of such processing, there are problems of effective separation of liquid and solid phases. The use of flocculants makes it possible to intensify the filtering process, prevent clogging of the filter pores with solid particles, and reduce the duration of the technological process. During the research, we studied the effect on phase separation of different types of flocculants - polyacrylamide - as a nonionic flocculant, Magnofloc - 336 from Ciba - as an anionic flocculant, Zetag - 7692 from Ciba - as a cationic flocculant. The model solutions contained approximately equal amounts of calcium and magnesium ions with a total hardness of 27 mg-eq/dm³ and were treated with an equivalent amount of sodium phosphate mixed with a flocculant dose of 1 – 80 mg/dm³. Conducted studies have shown that the addition of polyacrylamide in concentrations of 1 - 10 mg/dm³ is not accompanied by a positive effect during advocacy. After settling for 1 hour, the apparent volume of the solid phase is 30-40 % higher than the similar indicator without flocculant treatment. A noticeable effect is observed only at flocculant doses of 30 - 80 mg/dm³. Moreover, in the latter case, illumination occurs quite

quickly and within 10 min the imaginary volume of the solid phase reaches its minimum and changes very little during further settling. During filtration, the addition of a flocculant only slows down the process of separating the solid phase and significantly prolongs the production of a softened liquid phase. Addition of flocculant even in concentrations of 1 mg/dm^3 negatively affects the parameters of the filtration process. Therefore, it is possible to unequivocally state that polyacrylamide cannot be used as an intensifier of the phase separation process for systems of low and medium productivity (in which it is intended to use filtering). Under the same conditions, the efficiency of Magnofloc - 336 anionic flocculant during sedimentation is somewhat higher compared to polyacrylamide. At a flocculant dose of $30\text{-}80 \text{ mg/dm}^3$, the bulk of the solid phase settles within 5 minutes and forms a volume of about 30 cm^3 . Without a flocculant, softened water of such hardness clears very slowly. Therefore, it is obvious that during settling this flocculant can be used under the condition of the appropriate ratio in the initial solution of calcium and magnesium ions. Flocculant of this type turned out to be more effective during filtration. Traditionally, significant doses of flocculant ($30\text{-}80 \text{ mg/dm}^3$) inhibit the filtration process. At lower concentrations, the effect is more significant. Thus, at flocculant concentrations of $1 - 10 \text{ mg/dm}^3$, an increase in filtration speed is observed and its value approaches the filtration parameters of distilled water. Such a result can be considered positive both from the point of view of increasing the efficiency of the process and from the point of view of the lower consumption of reagents. Zetag - 7692 cationic flocculant did not have a positive effect during settling. Compared to other flocculants, Zetag - 7692 does not provide a difference in settling rates for different concentrations. In fact, the effect of the flocculant on the formed solid phase is quite insignificant. The same can be said about the effect of this flocculant on the filtration rate. In the flocculant concentration range of $1 - 80 \text{ mg/dm}^3$, all points of the graphs differ by $5 - 10 \%$ from the filtration speed curve without flocculant and are far from the filtration curve of distilled water. Thus, flocculant of this type does not provide a positive effect in the process of separating liquid and solid phases, and its use in softening processes is not very promising. Thus, in softening processes, it is recommended to use Magnofloc - 336 anionic flocculant in concentrations of $1 - 10 \text{ mg/dm}^3$ to intensify the phase separation process.

Key words: softening, calcium, magnesium, flocculant, filtration

References

1. Horev L. M., Peleshenko V. I., Khilchevskiy V. K. (1995), Hidrokhimiya Ukrayiny [Hydrochemistry of Ukraine], Kyiv.
2. DSanPiN 2.2.4-171-10, Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoi dlia spozhyvannia liudynoiu [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption], Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy 12.05.2010 r. No 400.
3. Dolinsky A. A., Obodovych O. M., Sydorenko V., Lyma A. (2021), Osoblyvosti vodopidhotovky dlya kotel'nykh [Features of water treatment for boiler rooms] Thermal Physics and Heat Power Engineering, Kyiv.
4. Gomelya M.D., Shablii T.O., Vember V.V., Tverdokhlib M.M. (2022), Kondytsiyuvannya vody dlya promyslovosti: laboratornyy praktykum [Water conditioning for industry: laboratory workshop], National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».
5. Jennifer N. Apell, Treavor H. Boyer. Combined ion exchange treatment for removal of dissolved organic matter and hardness. Water Research, Volume 44, Issue 8, April 2010, Pages 2419-2430. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.01.004>
6. Shablii T. O., Radovenchyk V. M., Homelia M. D. (2014), Zastosuvannya novykh reagentiv i tekhnolohii v promyslovomu vodospozhyvanni [Application of new reagents and technologies in industrial water consumption], Kyiv.
7. Noredidine Ghaffour, Thomas M. Missimer, Gary L. Amy. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability, Desalination, Volume 309, 15 January 2013, Pages 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>
8. Radovenchyk Ya. V., Hordiienko K. Yu., Krysenko T. V., Radovenchyk V. M. (2022), Osoblyvosti khimichnoho vysadzhennia ioniv kaltsiiu z rozvedenykh vodnykh rozchyniv [Peculiarities of chemical deposition of calcium ions from dilute aqueous solutions] // Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», 2. S. 72–78. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2022.260353>.
9. Radovenchyk, Y., Hordiienko, K., Krysenko, T., & Radovenchyk, V. (2022). Efektyvnist' vydalennya ioniv mahniyu z vody v protsesakh yiyi pom'yakshennya [Efficiency of magnesium ions removal from water in processes of its mitigation] // Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», 4. S. 88–94. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2022.269815>
10. Hordiienko, K., Radovenchyk, Y., Krysenko, T., Radovenchyk, V. (2022). Efektyvnist' vysadzhennya ioniv kal'tsiyu z rozvedenykh vodnykh rozchyniv u vyhlyadi fosfativ [The efficiency of precipitation of calcium ions from dilute aqueous solutions in the form of phosphates] // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences, 5, S. 134 – 140.