

Радовенчик Я. В., к.т.н., ст. викл.; Радовенчик В. М., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФЛОКУЛЯНТІВ ПРИ ВИДАЛЕННІ ЧАСТОК КАОЛІНУ ІЗ ВОДИ

В статті викладені результати дослідження ефективності процесів зниження мутності природних вод шляхом видалення часток каоліну. В якості інтенсифікаторів освітлення води досліджено аніон- та катіонактивні і неіоногенні флокулянти. Встановлено, що жоден і досліджених флокулянтів не забезпечує нормативних значень вмісту змулених речовин у питній воді і вимагає подальшого її доочищення шляхом фільтрування. Визначені найбільш ефективні умови використання флокулянтів та фактори, що на них впливають.

Ключові слова: каолін, флокулянт, відстоювання, освітлення, обробка води, зниження мутності води.

© Радовенчик Я. В., Радовенчик В. М., 2018

Постановка проблеми. Зменшення запасів якісних природних вод змушує все більше уваги приділяти технологіям підготовки питної води. При цьому з кожним роком підприємства водопідготовки стають потужнішими, об'ємнішими, а затрати на підготовку води питної якості суттєво зростають. Тому забезпечити якісною водою сьогодні всіх жителів планети практично неможливо. В результаті цього значна частина і населення України споживає сьогодні неякісну воду. За оцінками фахівців ООН, на початок 2010 року Україна за якістю питної води займала 95 місце із 122 країн [1]. За оцінками співробітників ВООЗ, близько 80 % всіх захворювань людини, від котрих щорічно помирає 25 млн. жителів планети, в тій чи іншій мірі пов'язані із споживанням неякісної води. Зважаючи на інтенсивне забруднення поверхневих та підземних вод, проблеми забезпечення жителів якісною питною водою є надзвичайно гострими, актуальними і, без сумніву, в майбутньому будуть загострюватися.

В довіклі відсутні води, вільні від домішок різноманітних твердих часток, які представлені, переважно, дисперсними твердими залишками руйнування русел річок та життєдіяльності живих організмів. Висока дисперсність таких часток зумовлює значні труднощі при видаленні їх з води. Тому дослідження в цій галузі і сьогодні є своєчасними та актуальними.

Аналіз попередніх досліджень. Згідно вимог чинного законодавства, вміст твердої фази в питній воді не повинен перевищувати $0,58 \text{ мг/дм}^3$ [2]. Для досягнення таких рівнів вмісту твердої фази сьогодні використовують відстоювання, фільтрування, флотацію, сорбцію та інші методи. Найбільш прийнятним, простим та економічно виправданим є метод відстоювання. Однак, ефективність цього методу в більшості випадків недостатня. Тому для підвищення ефективності відстоювання застосовують коагулянти та флокулянти. Як нами було встановлено раніше [3], при використанні в якості модельного розчину суспензії бентоніту навіть при концентраціях коагулянтів 50 мг/дм^3 досягти нормативного значення по вмісту твердої фази для питної води не вдається. Оскільки в природному водному середовищі надзвичайно багато різноманітних твердих часток із характеристиками, що суттєво різняться між собою, то для підвищення ефективності очищення природних вод необхідно досліджувати різні види таких часток. Попередні дослідження процесів видалення відстоюванням часток каоліну [4, 5] показали, що використання різних видів коагулянтів навіть в дозах 70 мг/дм^3 не дозволяє отримати бажаного результату.

Метою даної роботи було подальше вивчення можливості підвищення ефективності видалення часток каоліну із водного середовища шляхом використання різних типів флокулянтів промислового виробництва.

Викладення основного матеріалу. Як і в зазначених раніше дослідженнях [4, 5], в якості модельного розчину використовували попередньо відстояну протягом двох годин суспензію каоліну. Зважаючи на надзвичайно високу дисперсність часток каоліну, після замочування 3 г реагенту у 5 дм^3 води та наступного відстоювання протягом 2 годин залишкова концентрація твердої фази складала 225 мг/дм^3 . Для проведення дослідів 100 см^3 суспензії з відомим вмістом твердої фази обробляли визначеною дозою реагенту, коригували рН та знімали криві відстоювання протягом 2 годин. Після відстоювання фотоколориметричним методом визначали залишкову мутність води. В якості реагентів використовували флокулянти Magnafloc-156 з аніонним зарядом та молекулярною масою до 20 млн. в. о. і Zetag-7692 з катіонним зарядом та молекулярною масою до 20 млн. в. о., а також розчини поліакриламід (ПАА) в якості неіоногенного флокулянту.

Проведені дослідження показали, що всі типи флокулянтів по різному взаємодіють із частками каоліну, однак ефективність їх невисока. Так, ефективність флокулянту Magnafloc-156 виявилася досить низькою і, в загальному випадку, додавання цього реагенту лише гальмує процес освітлення (рис. 1).

Якщо при концентрації флокулянту 1 мг/дм³ інтенсивність відстоювання співставна із інтенсивністю відстоювання без обробки реагентами, то подальше підвищення концентрації лише погіршує ситуацію. При цьому мінімальна залишкова концентрація твердої фази в обробленій воді при вмісті флокулянта 10 мг/дм³ складала всього 10,3 мг/дм³ (табл. 1), але мінімальний уявний об'єм осаду при цьому – 94 % від початкового

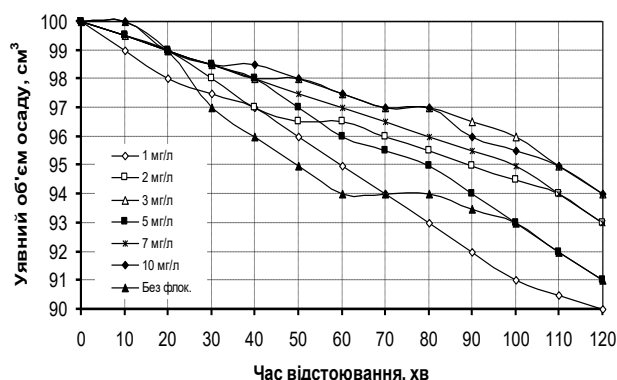


Рис. 1 – Кінетика освітлення суспензії каоліну ($C_k = 225$ мг/дм³) флокулянтом Magnafloc-156 при різних концентраціях реагенту

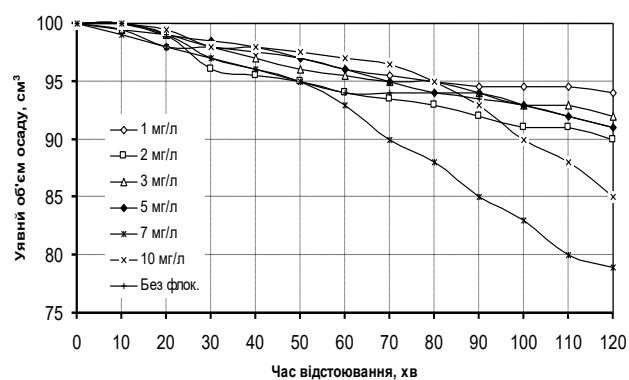


Рис. 2 – Кінетика освітлення суспензії каоліну ($C_k = 225$ мг/дм³) флокулянтом Zetag-7692 при різних концентраціях реагенту

об'єму суспензії, що не дозволяє вважати реагент придатним для практичного використання. При концентрації флокулянту 1 – 2 мг/дм³ залишковий вміст твердої фази після 2-х годин відстоювання навіть перевищував аналогічні значення для відстоювання без обробки реагентами. Якщо зважити на те, що виробник флокулянтів пропонує при розрахунках виходити із співвідношення 2 – 6 мг флокулянту на 1 г сухої речовини твердої фази, то очевидно, що використання даного флокулянту за визначених умов недопустиме. Не набагато кращою виявилася і ефективність флокулянту Zetag-7692 (рис. 2), навіть незважаючи на те, що його властивості суттєво відрізняються від аналогічних властивостей попереднього флокулянту. І хоча мінімальний уявний об'єм твердої фази після 2-х годин відстоювання склав 79 % від початкового об'єму суспензії при залишковій концентрації твердої фази 29 мг/дм³, такі показники не дозволяють рекомендувати даний реагент для використання при обробці води, що містить значну кількість часток каоліну. З отриманих результатів можна зробити висновок про те, що в суспензії міститься суміш часток з різним поверхневим зарядом, тому досліджені флокулянти малоефективні. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми може бути використання для інтенсифікації процесу відстоювання суспензії каоліну ПАА.

Таблиця 1 - Залишкові концентрації твердої фази після відстоювання суспензії каоліну протягом 2 годин з обробкою різними реагентами ($C_k = 225$ мг/дм³) при різних його концентраціях

Реагент	Без реагента	1 мг/дм ³	2 мг/дм ³	3 мг/дм ³	5 мг/дм ³	7 мг/дм ³	10 мг/дм ³
Magnafloc-156	75,0	95,0	97,5	70,0	67,5	43,0	10,3
Zetag-7692	75,0	56,0	41,0	37,0	29,0	25,1	23,5
ПАА	75,0	56,0	56,3	55,8	52,2	50,3	50,7

Як виявилось (рис. 3, табл. 1), ефективність ПАА нічим не відрізняється від ефективності досліджених раніше флокулянтів. Практично, порівнюючи результати процесу відстоювання суспензії без флокулянту, можна стверджувати, що додавання реагенту, як і в попередніх випадках, більше навіть гальмує осадження твердих часток каоліну, ніж сприяє процесу освітлення. Причому, зміна дози флокулянту практично не впливає на залишкові концентрації твердої фази у відстоюній протягом 2 годин суспензії.

Відомо, що коригування рН може впливати як на властивості реагенту, так і на поверхневі властивості часток каоліну, і, відповідно, суттєво впливати на ефективність процесів відстоювання. І хоча в процесах обробки води регулювання рН завжди пов'язано із використанням додаткових реагентів та підвищенням вартості кінцевого продукту, нами були проведені дослідження впливу на ефективність флокулянтів і цього фактора. На жаль, як було встановлено в результаті досліджень, в усьому діапазоні рН 4 – 10 при концентрації реагенту 3,0 мг/дм³ з використанням флокулянту Magnafloc-156 не зафіксовано якихось змін в інтенсивності відстоювання та його ефективності (рис. 4, табл. 2). Мінімальні концентрації твердої фази у відстоюній воді не опускаються нижче 35 мг/дм³ і характерні для нейтрального середовища. Процес освітлення практично не спостерігається. Мінімальне значення уявного об'єму твердої фази після 2 годин відстоювання складає лише 93 % від початкового об'єму суспензії. Причому, криві відстоювання досить близькі між собою і діапазон значень уявного об'єму твердої фази при різних рН не перевищує похибки вимірювання. Аналогічна залежність характерна і для флокулянту Zetag-7692 (рис. 5). Єдина різниця в тому, що через 2 години відстоювання на границях діапазону рН спостерігається підвищення інтенсивності освітлення суспензії при рН 4 та гальмування інтенсивності освітлення при рН 10. Мінімальні концентрації твердої фази на рівні 25 мг/дм³ зафіксовані при рН 4 (табл. 2) і з підвищенням рН вони несуттєво зростають.

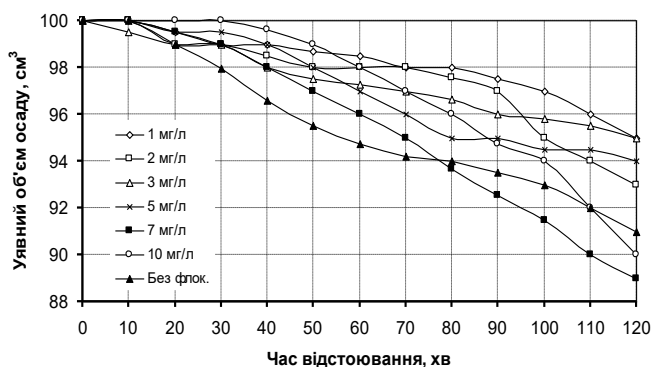


Рис. 3 – Кінетика освітлення суспензії каоліну ($C_k = 225$ мг/дм³) флокулянтом ПАА при різних концентраціях реагенту

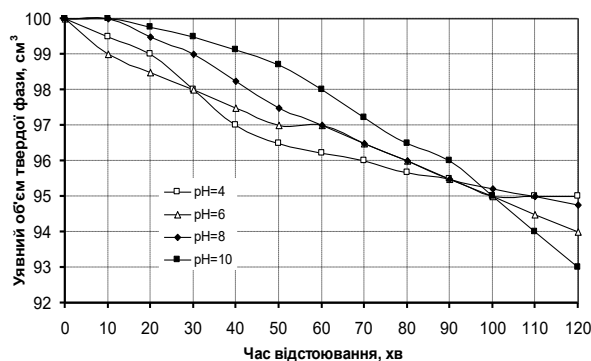


Рис. 4 – Вплив рН на ефективність відстоювання суспензії каоліну з Magnafloc-156 ($C_k = 225$ мг/дм³, $C_{маоп} = 3.0$)

Таблиця 2 – Залишкові концентрації твердої фази після відстоювання суспензії каоліну протягом 2 годин з обробкою різними реагентами ($C_k = 225$ мг/дм³, $C_{флок.} = 3$ мг/дм³) при різних рН

Реагент	рН 4	рН 6	рН 8	рН 10
без реагентів	68,5	75,0	78,8	74,3
Magnafloc-156	36,0	35,5	68,2	70,4
Zetag-7692	25,1	35,4	31,7	40,1
ПАА	20,2	26,4	32,2	50,9

Використання ПАА дозволило отримати найкращий результат в об'ємі цієї роботи. Як видно із рис. 6, при рН 4 спостерігається суттєве зниження уявного об'єму твердої фази – до 60 % від початкового об'єму суспензії. Такого значення не вдалося зафіксувати за досліджених умов для інших флокулянтів. При інших значеннях рН (рис. 6) такого підвищення не спостерігається. Якщо порівнювати результати коригування рН із флокулянтом і без нього (рис. 1) [5], то можна відмітити, що таке збільшення ефективності при рН 4 зумовлено саме присутністю флокулянту, оскільки без додавання реагенту підвищення ефективності відстоювання спостерігається при рН 11. Використання ПАА забезпечує й найбільш низькі залишкові концентрації твердої фази у відстоюній протягом 2 годин суспензії. Причому, із збільшенням рН до 11 вони зростають більше ніж у 2 рази. Разом з тим, навіть за таких результатів ПАА не можна вважати достатнім реагентом для видалення із водного середовища часток каоліну.

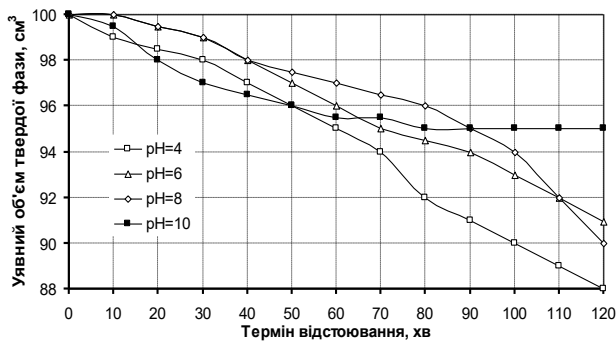


Рис. 5 – Вплив рН на ефективність відстоювання суспензії каоліну з Zetag-7692 ($C_k = 225 \text{ мг/дм}^3$, $C_{\text{Zetag}} = 3,0 \text{ мг/дм}^3$)

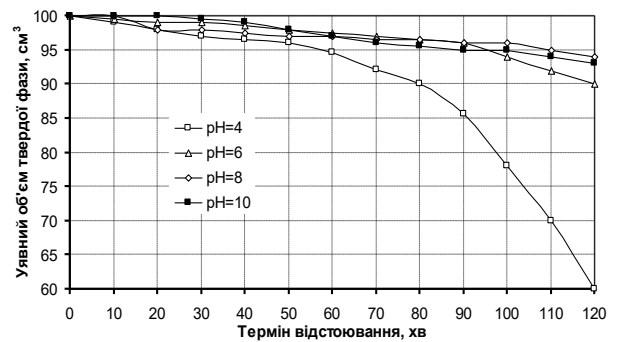


Рис. 6 – Вплив рН на ефективність відстоювання суспензії каоліну з ПАА ($C_k = 225 \text{ мг/дм}^3$, $C_{\text{ПАА}} = 3,0 \text{ мг/дм}^3$)

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено, що жоден з трьох типів досліджених флокулянтів не забезпечує нормативних вимог по вмісту твердої фази в питних водах, оброблених відстоюванням. Встановлено відсутність суттєвої залежності ефективності роботи флокулянтів різних типів від рН та початкового вмісту реагенту. Найкращі результати зафіксовані для ПАА, які склали 20,2 мг/дм³ для залишкового вмісту та 60 % уявного об'єму твердої фази при рН 4. При інших умовах освітлення та за використання інших флокулянтів результати були ще гіршими. Тому очевидно, що для отримання кращих результатів необхідно використовувати нові типи коагулянтів та флокулянтів, комбінувати коагулянти з флокулянтами чи передбачати процес доочищення шляхом фільтрування освітленої води через зернисті завантаження.

Список використаної літератури

1. Пашков А. П. Проблеми забруднення поверхневих, підземних і стічних вод та заходи щодо їх ліквідації і запобігання в Україні / А. П. Пашков // Безпека життєдіяльності. - 2011. - №4. – С. 10 – 16.
2. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : ДСанПіН 2.2.4-171-10. - Наказ Міністерства охорони здоров'я України 12 трав. 2010 р. № 400.
3. Оцінка ефективності алюмініймістких коагулянтів в процесах освітлення природних вод / В. М. Радовенчик, С. В. Глиняна, Я. В. Радовенчик, Н. В. Калініченко // Східно-європейський журнал передових технологій. - 2014. - №2 (10). – С. 17-20.
4. Радовенчик В. М. Дослідження ефективності освітлення природних вод відстоюванням / В. М. Радовенчик, Н. В. Калініченко, Я.В. Радовенчик / Зимові наукові читання : зб. наук. пр. – К.: Центр наукових публікацій, 2016. – С. 108 – 113.
5. Радовенчик Я. В. Підвищення ефективності видалення часток каоліну з води коагулянтами / Я. В. Радовенчик, Н. В. Калініченко, В. М. Радовенчик // Хім. інженерія, екологія та ресурсозбереження. - 2016. - №1 (15). – С. 81 – 85.

Надійшла до редакції 25.04.2018