УДК 628.1

ВЛАСТИВОСТІ ШАРУ ЗАВИСЛОГО ОСАДУ ПРИ ПОМ'ЯКШЕННІ ВОДИ ВАПНУВАННЯМ НА ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИХ ФІЛЬТРАХ

Одуд Л.М., аспірант,
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
liudmylaodud@mail.ru

Анотація. Наведено інформацію про негативний вплив наявності іонів кальцію та магнію у воді при використанні її для виробничих потреб, а також недоліки існуючих освітлювачів з шаром завислого осаду. Запропоновано застосування методу вапнування на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду для пом'якшення води. Описано процес формування шару завислого осаду, який складається з виділення малорозчинних сполук із води та подальшим укрупненням колоїдної системи до грубодисперсного стану. Експериментально доведено ефективність використання даного методу та наведено дані лабораторних досліджень при швидкості фільтрування 2,5; 3,0…3,5 м/год.

Ключові слова: пом'якшення води, метод вапнування, пінополістирольні фільтри, зростаючий шар завислого осаду.

СВОЙСТВА СЛОЯ ВЗВЕШЕННОГО ОСАДКА ПРИ СМЯГЧЕНИИ ВОДЫ ИЗВЕСТКОВАНИЕМ НА ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ФИЛЬТРАХ

Одуд Л.Н., аспирант,
Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно
liudmylaodud@mail.ru

Аннотация. Приведена информация об отрицательном влиянии наличия ионов кальция и магния в воде при использовании ее для производственных нужд, а также недостатки существующих осветлителей с шаром взвешенного осадка. Предложено применение метода известкования на пенополистирольных фильтрах с растущим слоем взвешенного осадка для смягчения воды. Описан процесс формирования шара взвешенного осадка, который состоит из выделения малорастворимых соединений из воды и дальнейшим укрупнением коллоидной системы к грубодисперсному состоянию. Экспериментально доказана эффективность использования данного метода и приведены данные лабораторных испытаний при скорости фильтрования 2,5; 3,0…3,5 м/ч.

Ключевые слова: смягчение воды, метод известкования, пенополистирольные фильтры, растущий слой взвешенного осадка.

CARACTERICTICS OF SUSPENDED SEDIMENT DURING LIMING WATER SOFTENING ON EXPANDED POLYSTERENE FILTERS

Odud L.M., post-graduate student,
National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne
liudmylaodud@mail.ru

Abstract. The work is devoted to the improvement of technological scheme for water softening by using a suspended sediment layer on expanded polysterene filters. Layer of suspended sediment is a contact environment which consists of solid particles formed during water treatment.

Very often water softening process is held in clarifiers with suspended sediment, but their construction and exploitation is rather difficult.

For simplification of already existing equipment we offer to use liming method on expanded polysterene filters with increasing layer of suspended sediment. That's why in our work we need to discover main characteristics of suspended sediment layer, its influence on water softening efficiency. Research object is the process of water purifying from hardness ions (calcium and magnesium). The main research method is experiment.

The formation of a suspended sediment layer out of calcium carbonate and magnesium hydroxide is a complicated phenomenon, during which the processes of calcium carbonate crystallization, magnesium hydroxide sorption on crystals of calcium carbonate, crystals adhesion, which are covered with membrane of magnesium hydroxide, and structure formation are taking place. For treatment we used running water. During research hardness decreasing, which depended directly proportionally on the process pH level was observed.

Due to research results we can approve that using a suspended sediment layer with lime adding on expanded polysterene filters allows to intensify water softening process by simplification already existing technological scheme and to decrease the size for building new ones; to decrease resources costs; to increase efficiency of purifying water from hardness ions.

Keywords: water softening, lime method, expanded polysterene filters, increasing layer of suspended sediment.

Вступ. Шар завислого осаду – це контактне середовище, яке складається із твердих частинок, що утворюються в процесі обробки води. Ці частинки підтримуються у завислому стані гідродинамічним тиском висхідного потоку води і разом із розділяючою їх водою утворюють гетерофазну систему [1].

Ідея обробки води в шарі завислого осаду вперше була подана С.Х. Азер'єром в 1930 р. При експлуатації вертикальних відстійників на міському водопроводі в Ростові-на-Дону ним було відмічено, що ефект очистки води різко зростає при накопиченні осаду. Подальші дослідження привели до створення Е.Н. Тетеркіним в 1936 р. першої конструкції дифузор-освітлювача [2].

З тих пір було запропоновано багато різноманітних конструкцій освітлювачів, які отримали поширення на міських, промислових і теплоенергетичних водоочисних станціях для освітлення, знебарвлення, пом'якшення і знекремлювання води [2].

В даній роботі ми детальніше зупинимось на використанні шару завислого осаду для пом'якшення води – видалення іонів кальцію та магнію, що спричиняють жорсткість води. Відкладання солей жорсткості на поверхні нагрівального, теплообмінного і технологічного обладнання, всередині трубопроводів підвищують енергетичні затрати, зменшують ресурс роботи обладнання, вимагають значних експлуатаційних ресурсів [3]. Для недопущення водного накипу дуже часто використовується вапнування, що може бути як самостійний (наприклад, для декарбонізації води, яка йде на підживлення тепломережі) чи попередній метод очистки води перед іонітовими фільтрами [1].

Проводиться він в освітлювачах з завислим шаром осаду – основним обладнанням даних технологічних схем. Освітлювачі з завислим шаром осаду можуть працювати лише при хімічній обробці води, коли завислі і колоїдні частинки, які містяться у воді, перестають бути стійкими і набувають властивості до злипання, утворенню агрегатів частинок – пластівців [4]. Конструкція освітлювачів з завислим осадом і їх експлуатація є досить складними [5].

Цілі і завдання. Для спрощення конструкції існуючого обладнання, в якому проводиться пом'якшення води, а натомість зменшення громіздкості споруд і розмірів будівель, в яких їх розміщують, зменшення кількості трубопроводів та додаткового обладнання (безпосередньо насосного), а також підвищення ефективності очищення води від іонів жорсткості, пропонуємо для пом'якшення води використовувати метод вапнування на пінополістирольних фільтрах з зростаючим шаром завислого осаду [6], конструктивну схему наведено на рис.1. З цією метою поставлені наступні завдання: експериментально встановити

умови формування зростаючого шару завислого осаду, дослідити основні характеристики шару завислого осаду, його вплив на ефективність пом'якшення.

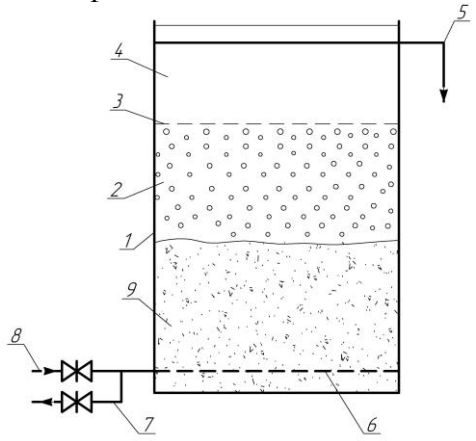

Рис. 1. Конструктивна схема пінополістирольного фільтра з зростаючим шаром завислого осаду: 1 – корпус; 2 – пінополістирольна засипка; 3 – утримуюча решітка; 4 – надфільтровий простір; 5 – відведення фільтрату; 6 – нижня розподільна система; 7 – відвід промивної води; 8 – подача вихідної; 9 – зростаючий шар завислого осаду

Об'єкти і методи дослідження. Об'єкт дослідження – процес очищення води від іонів жорсткості (кальцію та магнію). Предмет дослідження – процес пом'якшення води на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду.

Експериментальне дослідження – один з основних способів отримати нові наукові знання. В його основі лежить експеримент, що являє собою науково-поставлений досвід або спостереження явища в умовах, які точно враховані і які дозволяють слідкувати за його ходом, керувати ним, відтворювати його кожен раз при повторі цих умов.

В лабораторних умовах досліджували ефективність застосування шару завислого осаду на фільтрувальній установці лабораторії кафедри водопостачання, водовідведення і бурової справи НУВГП для пом'якшення води. Крім шару завислого осаду вода, що очищувалась, проходила шар спіненого полістиролу типу ПСВ-С з параметрами: мінімальний діаметр – 0,8 мм, максимальний діаметр – 1,5 мм, еквівалентний діаметр – 1,17 мм, коефіцієнт неоднорідності – 1,29. В якості реагенту використовували вапно.

Результати досліджень. Формування шару завислого осаду в підфільтровому просторі пінополістирольного фільтра з зростаючим шаром завислого осаду при використанні вапна відбувається таким чином. Вапно реагує з розчиненою у воді вуглекислотою і з бікарбонатами кальцію та магнію. Процес складається з декількох етапів. На першому етапі відбуваються хімічні реакції з утворенням молекул малорозчинних сполук – карбонату кальцію та гідроксиду магнію. Останні утворюють колоїдну систему, укрупнення якої до грубодисперсного стану складає другий етап процесу. Потім відбувається укрупнення грубодисперсних формувань і видалення їх із води [1].

Для осаду з карбонату кальцію характерна кристалічна будова речовини і характер агрегації окремих частинок, який відбувається переважно по плоских гранях. Спостерігається також і деяка кількість частинок, які з'єднані між собою по гострим гранях і вершинах. Така будова характерна для конденсаційно-кристалізаційного структуроутворення. В результаті з'єднання частинок по вершинах і гострим гранях, а також за рахунок гідратних оболонок окремих частинок завись карбонату кальцію, яка утворюється в процесі пом'якшення води, має помітну структурно-механічну гідратацію. Деяке ущільнення цієї завісі в осаді відбувається за рахунок порушення зв'язків по кутах і гострим граням і більш компактному вкладанню частинок [1].

Кристали речовини утворюються в результаті дії вільної поверхневої енергії зародку (первинної частинки) і перенасичення розчину на межі його з рідкою фазою. Перенасичений шар розчину знаходиться на деякій відстані від поверхні кристалічного зародку. За

напрямком до цієї поверхні в межах вказаної відстані концентрація розчину зменшується внаслідок виділення з нього твердої фази. Ця зона між перенасиченим шаром і твердою поверхнею називається «двориком кристалізації». Початковою стадією кристалізації є утворення ланцюжка із протилежно заряджених іонів. Потім відбувається з'єднання ланцюжків в агрегати більшого розміру. Ці агрегати і відкладаються на поверхні кристалічного зародку. Зародки утворюються в результаті місцевого перенасичення розчину, яке може виникнути в місці введення реагентів у воду, а також флуктуацій тепла чи маси розчиненої речовини. При цьому необхідне таке розміщення іонів чи молекул, яке відповідає їх положенню в кристалічній решітці даної речовини. Вірогідність створення цих умов залежить від концентрації та від швидкості дифузії речовини [1].

Для кристалізації на твердій вже існуючій поверхні потрібно менше енергії, ніж при утворенні кристалу у вільному об'ємі. На криволінійній поверхні, особливо в заглибленнях, кристалізація проходить швидше, ніж на плоскій поверхні. Крім того, кристалічний зародок прискорює кристалізацію, діючи як адсорбент. Аналогічну роль можуть відігравати частинки механічних домішків води. Їх дія на процес кристалізації тим сильніша, чим більша схожість кристалічної структури частинок розчиненої солі [1].

Наявність на кристалах, а також на іонах і молекулах, з яких вони утворюються, сольватної оболонки перешкоджає кристалізації. Кристалізація відбувається лише після видалення цієї оболонки, чому сприяє рух розчину відносно поверхні кристалу. Чим інтенсивніше омиваються розчином грані кристалу, тим швидше вони ростуть [1].

Гідроксид магнію виділяється у вигляді безладно зчеплених між собою в сітчасту структуру елементарних частинок. Ця структура відноситься до коагуляційного типу; вона має маленьку міцність, включає в комірки каркасу велику кількість води, має властивості тиксотропії [1].

Присутність гідроксиду магнію змінює механізм утворення осаду. Гідроксид магнію має аморфну будову і сорбується на поверхні кристалів карбонату кальцію, перешкоджаючи їх безпосередньому з'єднанню і росту. З'єднання відбувається з допомогою речовини гідроксиду магнію по діагоналі кристалів і місце з'єднання має вигляд перемички, товщина якої менша в порівнянні з іншими складовими елементами агрегату. Ці подовжені агрегати в свою чергу з'єднуються в більш складну систему, яка дає початок утворенню структурної сітки, тобто відбувається перехід до структуроутворення коагуляційного типу. Комірки такої сітки заповнені водою, внаслідок чого підвищується вміст води в осаді і зменшується його щільність і міцність. При однаковому масовому вмісті компонентів осаду переважна більшість агрегатів має подовжену форму, при чому помітне зменшення їх товщини і більша асиметрія в порівнянні з агрегатами карбонату кальцію.

Присутність гідроксиду магнію діє на формування кристалів карбонату кальцію аналогічно додаванню поверхнево-активної речовини, яка сповільнює ріст кристалів і якісно впливає на процес структуроутворення. По мірі збільшення вмісту в осаді гідроксиду магнію здійснюється поступовий перехід від конденсаційно-кристалізаційного процесу до коагуляційного і відбуваються зміни фізичних властивостей осаду [1].

Таким чином, формування осаду із карбонату кальцію і гідроксиду магнію являє собою складне явище, при якому відбуваються процеси кристалізації карбонату кальцію, сорбції гідроксиду магнію на кристалах карбонату кальцію, адгезії кристалів, покритих оболонкою гідроксиду магнію, і структуроутворення [1].

Характеристику хімічного складу зависі при пом'якшенні води прийнято виражати у вигляді (1, 2):

$$\alpha_{м} = \frac{Mg(OH)_2}{CaCO_3} \quad , \tag{1}$$

$$\alpha_{м} = \frac{Mg(OH)_2}{Mg(OH)_2 + CaCO_3} , \tag{2}$$

де $Mg(OH)_2$ – концентрація магній гідроксиду; $CaCO_3$ – концентрація карбонату кальцію.

Дані наведені на рис.2, отримані при температурі води 15 °С при значеннях $\alpha_м$=0,1…0,3. Вони можуть прийматись як середні в інтервалі температур від 5 до 40 °С [1].

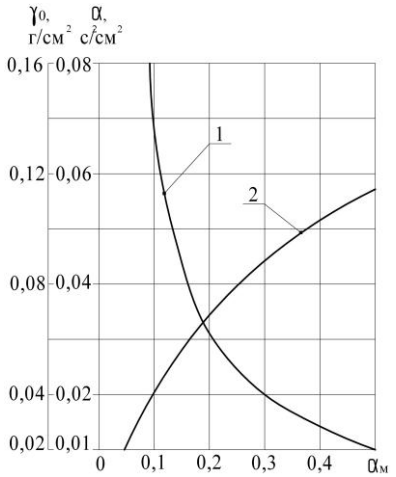

Рис. 2. Залежність питомої концентрації завісі γ (крива 1) і коефіцієнта ущільнення α (крива 2) від відношення $\alpha_м$ [1].

Так як, відбувається постійне накопичення завісі, що може мати негативний вплив на контактне середовище, тому важливим є видалення надлишку завісі для підтримання висоти завислого шару твердих часток і збереження оптимальних фізико-хімічних параметрів контактного середовища. В запропонованих нами фільтрах відведення надлишкового завислого осаду відбувається з нижньої частини шару під час проведення промивки фільтра.

Для очищення подавалась вода із водопровідної мережі міста Рівне. Усереднені показники водопровідної води за період досліджень були такі: загальна жорсткість – 5,90 ммоль/дм^3, лужність – 6,00 ммоль/дм^3, pH – 7,70. Лабораторні дослідження проводились в діапазоні швидкостей 2,5…4,0 м/год. Тривалості фільтроциклів були: 8, 12 та 24 год. Спостерігалось пониження жорсткості, що залежало прямопропорційно від рівня pH процесу. Для прикладу на рис. 3, 4 наведено дані лабораторних досліджень. Під час фільтроциклу при швидкості фільтрування 2,5 м/год перших кілька годин відбувалось формування шару завислого осаду, тому ефект пом'якшення не є високим. Обов'язковим є підтримання pH процесу на рівні ≥ 9,0.

Рис. 3. Зміна загальної жорсткості в період фільтроциклу (24 год) при швидкості V=2,5 м/год:
1 – значення загальної жорсткості у фільтраті, ммоль/дм³; 2 – значення pH у фільтраті; 3 – необхідне мінімальне значення pH – 9,0

Рис. 4. Зміна загальної жорсткості в період фільтроциклу (12 год) при швидкості V=3,0…3,5 м/год:
1 – значення загальної жорсткості у фільтраті, ммоль/дм³; 2 – значення pH у фільтраті;
3 – необхідне мінімальне значення pH – 9,0

Також під час фільтроциклу при швидкості фільтрування 3,0…3,5 м/год ми проводили щогодини часткове відведення завислого осаду. В середньому кількість відведеного осаду становила 150 мл.

Висновки. Згідно отриманих результатів після проведення лабораторних досліджень, можемо зробити висновок, що шар завислого осаду, сформований з допомогою вапна на пінополістирольних фільтрах з зростаючим шаром завислого осаду, має властивості, що сприяють пониженню жорсткості у воді та може використовуватись для пом'якшення води. А саме безпосередньо для попередньої обробки води на підприємствах, в технологічних схемах яких використовується паросилове господарство, яке потребує води відповідної якості. Даний метод дозволить інтенсифікувати процес пом'якшення води завдяки спрощенню вже існуючої технологічної схеми та зменшити розміри при будівництві нових; зменшити витрати на ресурси; підвищити ефективність очищення води від іонів жорсткості. Новизна розробок підтверджується патентом України № 84049 "Спосіб пом'якшення води з використанням вапна" [6].

Література

1. Кургаев Е.Ф. Осветлители воды / Е.Ф. Кургаев. – М.: Госстройиздат, 1977. – 163 с.
2. Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А.А. Кастальский, Д.М. Минц. – М.: "Высшая школа", 1962. – 558 с.
3. Аксенов В.И. Водное хозяйство промышленных предприятий / В.И. Аксенов, Я.М. Щелоков, Ю.А. Галкин, И.И. Ничкова.: справочное издание. В 6 кн. Кн. 3. – М.: Теплотехник, 2007. – 368 с.
4. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды / Д.М. Минц. – М.: Стройиздат, 1964. – 155с.
5. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.Г. Первов.: учеб. для вузов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. – 512 с.
6. Пат. 84049 Україна, МПК C02F 5/00 C02F 5/02 C02F 5/06. Спосіб пом'якшення води з використанням вапна / В.О. Орлов, Л.М. Одуд, М.М. Меддур; заявник і патентовласник НУВГП. – № 201304200; заявл. 04.04.2013, опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19. – 4 с.: іл.

Стаття надійшла 22.08.2016