

## УДК 628.1

**Одуд Л. М., аспірант** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### **ЗАСТОСУВАННЯ ШАРУ ЗАВИСЛОГО ОСАДУ ДЛЯ ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ В ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИХ ФІЛЬТРАХ**

**Наведено інформацію про негативний вплив вмісту іонів кальцію та магнію у воді при використанні її для виробничих потреб. Запропоновано застосування методу вапнування на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду для пом'якшення води. Описано процес формування осаду із карбонату кальцію та гідроксиду магнію, а також особливості видалення його надлишку. В лабораторних умовах експериментально доведено ефективність даного методу. Для прикладу наведено дані при швидкості фільтрування 3,5 м/год.**

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

Виникнення водного накипу характерно для більшості галузей техніки. Практично в будь-якій галузі промисловості, енергетики, об'єктах ЖКГ існує постійно чи періодично виникає ця проблема. Відкладення солей жорсткості (солі кальцію і магнію) на поверхні нагрівального, теплообмінного і технологічного обладнання, всередині трубопроводів підвищують енергетичні затрати, зменшують ресурс роботи обладнання, вимагають значних експлуатаційних ресурсів [1].

Для недопущення утворення водного накипу найбільш широко застосовується такий процес осадження, як пом'якшення води вапном. Даний процес базується на зв'язуванні іонів, які підлягають видаленню, в малорозчинні з'єднання, що осаджуються у вигляді шламу, який потім видаляється із води, що оброблюється, шляхом фільтрування [2; 3]. Шлам одночасно відіграє роль контактної середовища, де відбуваються реакції осадження, і завислого шламового фільтра, в якому дрібні частинки укрупнюються і відводяться через шламоушільнювачі [2].

Вапнування застосовується в якості самостійного (наприклад, для декарбонізації води, яка йде на підживлення тепломережі) чи в якості попереднього методу очистки води перед іонітовими фільтра-

ми [4]. 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 [5]. Конструкція освітлювачів з завислим осадом і їх експлуатація є досить складними [6].

Пропонуємо для пом'якшення води використовувати метод вапнування на пінополістирольних фільтрах з зростаючим шаром завислого осаду [7], конструктивну схему наведено на рис. 1.

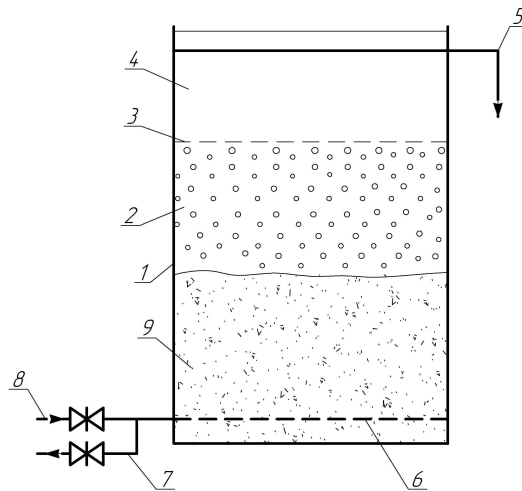


Рис. 1. Конструктивна схема пінополістирольного фільтра з зростаючим шаром завислого осаду: 1 – корпус; 2 – пінополістирольна засипка; 3 – утримуюча решітка; 4 – надфільтровий простір; 5 – відведення фільтрату; 6 – нижня розподільна система; 7 – відвід промивної води; 8 – подача вихідної; 9 – зростаючий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

Фільтр працює таким чином. Вихідна вода вже змішана з реагентом (вапно) трубопроводом подається в нижню розподільну систему, рівномірно розподіляється по площі, проходить спочатку шар завислого осаду, а потім через плаваючу пінополістирольну засипку і очищеною збирається в надфільтровому просторі. У міру фільтрування засипка колюматується, закінчується фільтроцикл досягненням часу захисної дії фільтра або часу досягнення граничних втрат напору, фільтр переводиться в режим промивки шляхом закриття засувки на трубопроводі подавання вихідної води та відкриттям засувки на трубопроводі відведення промивної води. Чиста вода з надфільтрового простору йде вниз, розширює та відмиває фільтрувальну засипку, збирається розподільною системою і відводиться в

каналізацію. Рівень води в надфільтровому просторі знижується, промивка припиняється шляхом закриття засувки на трубопроводі відведення промивної води [8].

Контактне середовище в підфільтровому просторі складається із твердих частинок – продуктів процесу обробки води. Ці частинки підтримуються у завислому стані гідродинамічним тиском висхідного потоку води і разом з розділяючою їх водою утворюють гетерофазну систему [4]. Гетерофазна система навіть при відносно невеликій концентрації твердої фази має властивості, які суттєво відрізняються від властивостей рідкої фази. Швидкість осадження твердих частинок в гетерофазній системі понижається в порівнянні зі швидкістю падіння окремої частинки у вільному об'ємі рідини. Це явище обумовлене тим, що гетерофазна система має більш високу в'язкість, ніж рідкий її компонент [4].

Вапно реагує з розчиненою у воді вуглекислою і з бікарбонатами кальцію та магнію. Процес складається з декількох етапів. На першому із них 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 слідує укрупнення грубодисперсних формування і видалення їх із води [4].

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 [4].

Карбонат кальцію виділяється із води в результаті процесу кристалізації. Частинки його мають строго симетричну форму, мають високу міцність і не здатні до остаточних деформацій і до відновлення після руйнування. Такі властивості характерні для конденсаційно-кристалізаційних структур [4].

В результаті з'єднання частинок по вершинах і гострих границях, а також за рахунок гідратних оболонок окремих частинок завись карбонату кальцію, яка утворилась в процесі пом'якшення води, має помітну структурно-механічну гідратацію [4].

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 ро-

зчину 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 більшого розміру агрегати. 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 [4].

Гідроксид магнію виділяється у вигляді безладно зчіплених 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 [4].

Присутність гідроксиду магнію змінює механізм формування осаду. Гідроксид магнію має аморфну будову і сорбується на поверхні кристалів карбонату кальція, перешкоджаючи їх безпосередньому з'єднанню і росту. З'єднання відбувається за 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 густина і міцність [4].

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 кондинсаційно-кристалізаційного процесу до коагуляційного і відбуваються зміни фізичних властивостей осаду [4].

Відбувається постійне накопичення зависі, що може мати негативний вплив на контактне середовище, оскільки деяка частина зависі "старіє", не досягнувши верху завислого шару, і опускається вниз. Видалення надлишку зависі із контактного середовища необ-

хідно для підтримання висоти завислого шару твердих часток і збереження оптимальних фізико-хімічних параметрів контактного середовища. Регулювання і збереження вказаних параметрів досягається шляхом відводу із контактного середовища: інертних домішок, постарілих формувань і часток, які мають властивість адсорбувати лише один із компонентів речовин, що видаляються із води [4].

Видалення зависі із контактного середовища освітлювача містить в собі наступні процеси: переміщення твердих часток в контактному середовищі до місця їх виходу за його межі, вихід із контактного середовища і переміщення зависі в осадконакопичувач [4]. Верхня межа завислого осаду, яка утворює контактне середовище, повинна знаходитись на рівні верхньої кромки шламоприймальних вікон шламоущільнювача [2]. Тобто відведення надлишкового завислого осаду відбувається з верхньої частини шару. В запропонованих нами фільтрах відведення надлишкового завислого осаду відбувається з нижньої частини шару, при промивці фільтра. Обов'язковим є залишати шар завислого осаду в підфільтровому просторі на рівні 0,2-0,24 м. Осад, що змивається з зерен завантаження, має більш щільну структуру, ніж осад, утворений у вільному просторі і навіть при стисненому стані він забезпечує більшу швидкість стисненого осадження [9].

Дослідження процесу пом'якшення на пінополітирольних фільтрах зі зростаючим шаром завислого осаду в лабораторних умовах проводились в лабораторії кафедри водопостачання, водовідведення і бурової справи на установці для фільтрування води. Для очищення подавалась вода із водопровідної мережі міста Рівне. В якості фільтрувального матеріалу використовувався спінений полістирол типу ПСВ-С (підтип ПСВ-С<sup>N</sup>-А) з такими параметрами: мінімальний діаметр гранул становить 0,8 мм, максимальний – 1,5 мм, еквівалентний діаметр рівний 1,17 мм, коефіцієнт неоднорідності 1,29; в якості реагенту – вапно. Усереднені показники водопровідної води за період досліджень були такі: загальна жорсткість – 5,80 ммоль/дм<sup>3</sup>, лужність – 6,10 ммоль/дм<sup>3</sup>, рН – 7,30. Середнє значення теоретичної дози вапна – 381 ммоль/дм<sup>3</sup>. Лабораторні дослідження проводились в діапазоні швидкостей 2,0-5,0 м/год. Тривалості фільтроциклів були: 9 та 18 год. Спостерігалось пониження жорсткості, що залежало прямопропорційно від рівня рН процесу. Обов'язковим є підтримання рН процесу на рівні  $\geq 9,0$ . Для прикладу, в таблиці та на рис. 2 наведено дані лабораторних досліджень одного з фільтроциклів.

Таблиця

Результати досліджень процесу пом'якшення  
при швидкості 3,5 м/год

Час від початку фільтроциклу, год	Ж <sub>заг</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	Ж <sub>Са</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	Ж <sub>Мг</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	Лужність, ммоль/дм <sup>3</sup>	рН <sub>вх</sub>	рН <sub>ф</sub>	Дд
1,00	1,00	0,50	0,50	0,80	8,25	9,80	335
2,00	0,95	0,50	0,45	0,90	10,10	9,90	358
3,00	2,20	0,85	1,35	2,00	10,50	9,40	360
4,00	2,30	0,90	1,40	2,25	10,20	9,40	425
5,00	2,50	1,20	1,30	2,00	10,45	9,50	365
6,00	2,00	0,60	1,40	1,80	8,75	9,55	365
7,00	2,10	0,70	1,40	2,25	11,65	9,65	380
8,00	2,10	1,00	1,10	2,10	11,30	9,45	375
9,00	2,00	0,85	1,15	2,10	10,85	9,65	360
10,00	2,00	0,80	1,20	2,20	10,19	9,80	343
11,00	1,90	0,60	1,30	2,30	10,60	10,40	363
12,00	2,20	0,60	1,60	1,80	10,26	10,11	424
13,00	1,80	0,50	1,30	1,90	11,45	10,25	464
14,00	1,60	0,50	1,10	1,50	10,25	10,35	404
15,00	1,75	0,50	1,25	1,80	9,05	10,39	343
16,00	0,50	0,40	0,10	2,30	9,32	9,84	384
17,00	1,80	0,80	1,00	2,15	9,05	9,46	384
18,00	1,80	0,70	1,10	1,90	11,40	9,65	424
Середнє значення	1,81	0,69	1,11	1,78	10,20	9,81	381

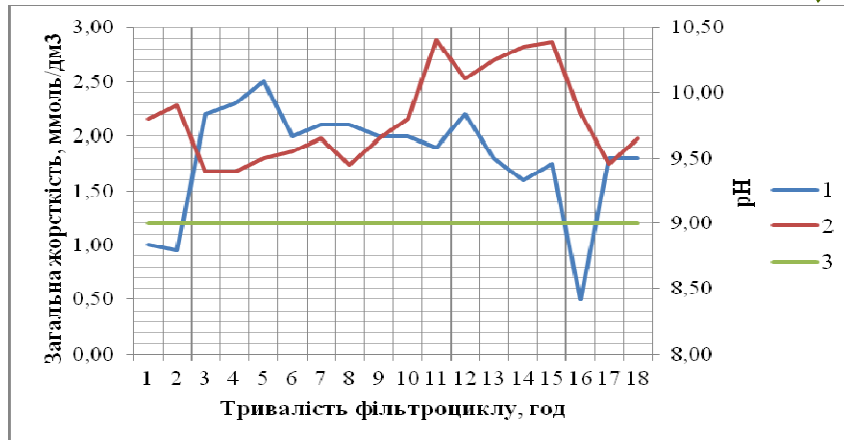


Рис. 2. Зміна загальної жорсткості в період фільтроциклу (18 год) при швидкості  $V=3,5$  м/год:

- 1 – значення загальної жорсткості у фільтраті, ммоль/дм<sup>3</sup>; 2 – значення рН у фільтраті; 3 – необхідне мінімальне значення рН – 9,0

Згідно отриманих результатів після проведення ряду лабораторних досліджень, можемо підсумувати, що застосування шару завислого осаду, сформованого за допомогою додавання вапна, в пінополістирольних фільтрах, є ефективним для пониження жорсткості у воді та може застосовуватись для пом'якшення води. Зокрема для попередньої обробки води на підприємствах, в технологічних схемах яких використовується паросилове господарство, яке потребує води відповідної якості. Це 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.

**1.** Водное хозяйство промышленных предприятий : справочное издание: книга 3 / Аксенов В. И., Щелоков Я. М., Галкин Ю. А., Ничкова И. И.; под ред. В. И. Аксенова. – М. : Теплотехник, 2007. – 368 с. **2.** Лившиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок / Лившиц О. В. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1976. – 288 с. **3.** Water quality and treatment. A Handbook of Community Water Supplies/ American Water Works Association. Fifth edition. – USA : McGraw-Hill, Inc, 1999. – 1163 p. **4.** Кургаев Е. Ф. Осветлители воды. – М. : Госстройиздат, 1977. – 163 с. **5.** Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М. : Строиздат, 1964. – 155 с. **6.** Фрог Б. Н., Первов А. Г. Водоподготовка. Учеб. для вузов. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. – 512 с. **7.** Спосіб пом'якшення води з використанням вапна. Патент України № 84049UA. МПК C02F 5/00 C02F 5/02 C02F 5/06/ В. О. Орлов, Л. М. Одуд, М. М. Меддур (Україна). Заявлено 04.04.2013. **8.** Одуд Л. М. Застосування пінополістирольних фільтрів з зростаючим шаром завислого осаду для пом'якшення води / Одуд Л. М. // Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціо-

нального використання) : Матеріали Чотирнадцятої Міжнародної науково-практичної конференції: збірник наукових статей. – Львів, 28-29 травня, 2015 р. – Львів : ЛьДЦНІІ, 2015. – 213 с. 9. Орлов В. О. Пінополістирольні фільтри в технологічних схемах водо підготовки / Орлов В. О., Зошук А. М., Мартинюк С. Ю. – Рівне : РДТУ, 1999. – 143 с.

Рецензент: д.т.н., професор Орлов В. О. (НУВГП)

---

**Odud L. M., Post-graduate Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **USE OF SUSPENDED SEDIMENT LAYER FOR WATER SOFTENING IN EXPANDED POLYSTYRENE FILTERS**

**There is shown the information on the negative impact of the calcium and magnesium presence in the water which is used for production purposes. It's offered to use liming method on expanded polystyrene filters with increasing layer of suspended sediment for water softening. It's described the process of forming calcium carbonate and magnesium hydroxide sediment, and also features of its excess removing. Experimentally proved the effectiveness of this method in laboratory conditions. For example, it's presented research data with filtering rate 3.5 m/h.**

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

---

**Одуд Л. М., аспирант** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ПРИМЕНЕНИЕ СЛОЯ ВЗВЕШЕННОГО ОСАДКА ДЛЯ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ В ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ФИЛЬТРАХ**

**Приведена информация об отрицательном влиянии наличия ионов кальция и магния в воде при использовании ее для производственных нужд. Предложено применение метода известкования на пенополистирольных фильтрах с растущим слоем взвешенного осадка для умягчения воды. Описан процесс формирования осадка с карбоната кальция и гидроксида магния, а также особенности удаления его избытка. В лабораторных условиях экспериментально доказана эффективность данного метода. Для примера приведены данные при скорости фильтрации 3,5 м/ч.**

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

---