УДК 628.1

Одуд Л. М.
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВАПНУВАННЯ НА ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИХ ФІЛЬТРАХ ІЗ ЗРОСТАЮЧИМ ШАРОМ ЗАВИСЛОГО ОСАДУ ДЛЯ ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

Вода в світовому господарстві є дуже важливим природним ресурсом. Її використання є досить різноманітним: для господарсько-питних цілей, комунальних підприємств, а також для потреб харчової і деяких інших галузей промисловості; охолодження (технологічного обладнання, охолодження пари, рідких і газоподібних продуктів, доменних і мартенівських печей, конденсаторів турбін і парових машин; варганок, ковальських молотів та ін.); потреб паросилового господарства (живлення парових котлів АЕС, ТЕЦ); технологічних потреб промисловості, де вода може входити в склад продукції чи контактувати з нею; заводнення нафтових пластів; потреб сільського господарства [1].

Вимоги до кількості і якості води, яка подається визначаються характером технологічного процесу. Виконання цих вимог спорудами водопідготовки забезпечує нормальну роботу підприємства і належну якість продукції, яка випускається. Незадовільне ж - може призвести не тільки до погіршення якості продукції чи зростання вартості виробництва, але й ряду випадків – до псування обладнання і навіть до небезпечних аварій.

Практично в будь-якій галузі промисловості, енергетиці, об'єктах господарсько-комунального господарства існує постійно чи періодично виникає проблема виникнення накипу [2]. Накип покриває тонкою плівкою поверхню металу, знижує його теплопровідність, може викликати нагрів металу до температури 600°С і вище, відповідно знизиться міцність металу, а це призведе до руйнування поверхонь нагріву [3]. Причиною цього є наявність великої кількості розчинних кальцієвих та магнієвих солей різних кислот (вугільної, сірчаної, соляної, азотної, фосфорної, кременевої). Саме цими розчиненими солями і обумовлюється показник жорсткості у використовуваній воді.

Чисельно загальна жорсткість визначається так (в ммоль/дм³):

$$Ж_з = \frac{Ca^{2+}}{20{,}04} + \frac{Mg^{2+}}{12{,}16}, \qquad (1)$$

де Ca^{2+} та Mg^{2+} - маси відповідних речовин, розчинених в одиниці об'єму, мг/дм³; 20,04 та 12,16 – молярні маси еквіваленту іонів кальцію та магнію відповідно, мг/ммоль.

Відкладення солей жорсткості на поверхні нагріваючого, теплообмінного і технологічного обладнання, всередині трубопроводів підвищує енергетичні затрати, понижає ресурс роботи обладнання, потребує значних експуатаційних ресурсів [2].

Покращити якість води можна шляхом її пом'якшення – видалення з води катіонів кальцію та магнію. Для цього застосовують такі основні методи: термічний (нагрівання води вище 100 °С або виморожування води), реагентний (додавання реагентів і зв'язування з їх допомогою катіонів кальцію і магнію в практично нерозчинні сполуки), іонного обміну (пропускання води через іонітові фільтри); діалізу (фільтрація вихідної води через напівпроникну мембрану); комбінований (являє собою поєднання вищеназваних методів) [1].

Так, як деякі методи вимагають підвищених температур проходження процесу, що спричиняє значні витрати теплоенергії, а для деяких реагенти є досить дорогими, деякі своїм застосуванням спричиняють виникнення додаткових сполук, які в подальшому необхідно видалити чи нейтралізувати, тощо. Тому доцільним є проведення досліджень для знаходження нових чи вдосконалення існуючих методів пом'якшення води.

Розглянемо детальніше метод вапнування. При його застосуванні в якості реагенту використовують вапно, яке вводять у вигляді розчину чи суспензії (молока) в попередньо підігріту воду, яка обробляється. Введення вапна, в першу чергу, підвищує водневий показник вище 9 і при цьому одночасно утворюється карбонат – іон у складі важкорозчинного $CaCO_3$, який випадає в осад та зменшує карбонатну жорсткість [3]:

$$2CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2, \quad (2)$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 \downarrow + 2H_2O \quad (3)$$

$$HCO_3^- + Ca(OH)_2 \rightarrow OH^- + CaCO_3 + 2H_2O. \quad (4)$$

Паралельно магній осаджується у вигляді гідроксиду магнію:

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + 2CaCO_3 \downarrow + 2H_2O. \quad (5)$$

Вапно осаджує магній в некарбонатних солях, але замінює магнієву жорсткість на кальцієву:

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaSO_4, \quad (6)$$

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaCl_2. \quad (7)$$

Досить часто одночасно з вапнуванням застосовують коагуляцію сульфатом заліза для прискорення видалення дисперсних і колоїдних домішків і пониження лужності води. Наведемо найбільш поширену для даного методу принципову схему на рис.1.

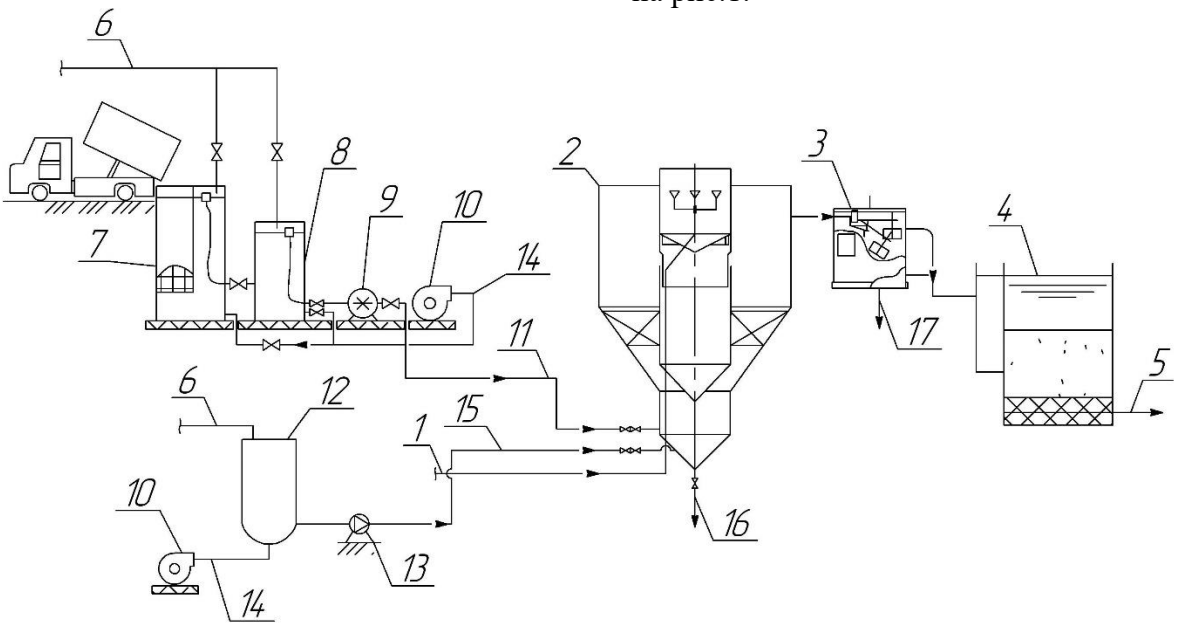

Рис. 1. Принципова схема пом'якшеня води методом вапнування поєднаним з коагуляцією: 1 – подача підігрітої вихідної води; 2 – прояснювач; 3 – бак розриву струменя; 4 - контактний фільтр; 5 – трубопровід пом'якшеної води; 6 – подача води для приготування розчину реагенту; 7 – розчинний бак коагулянту; 8 – витратний бак коагулянту; 9 – насос-дозатор коагулянту; 10 – компресор; 11 – подача коагулянту; 12 - бак вапна ; 13 – насос подачі розчину вапна; 14 – подача повітря; 15 – подача розчину вапна; 16 – скид шламу; 17 – трубопровід повного спорожнення

Для спрощення та здешевлення технологічної схеми пропонуємо використовувати метод вапнування на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду. Дослідження процесу пом'якшення в лабораторних умовах проводились в лабораторії кафедри водопостачання, водовідведення і бурової справи на установці для фільтрування води. Принципова схема наведена на рис.2. Метою досліджень було експериментальне підтвердження та обгрунтування можливості застосування даного методу для пом'якшення води.

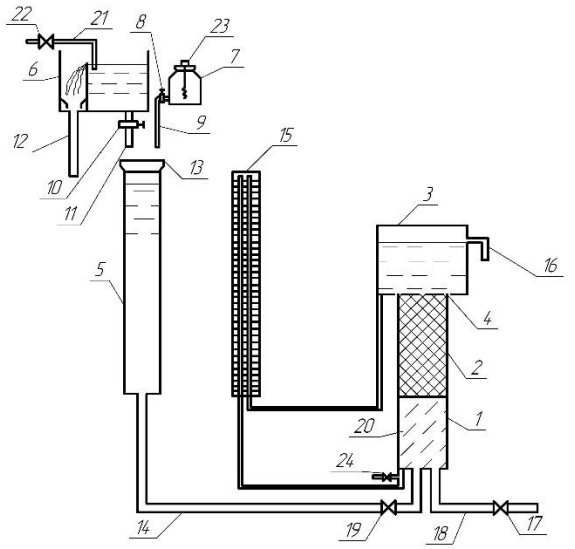

Рис. 2. Схема лабораторної установки для пом'якшення води:
1 - фільтрувальна колона; 2 - фільтрувальна засипка; 3 - промивний бак; 4 - утримуюча решітка; 5 – контактна камера; 6 – переливний бак; 7 - посудина для приготування розчину вапна; 8 - гвинтові зажими; 9 - трубка для подачі розчину вапна; 10 - шаровий кран; 11- трубопровід подачі води у контактну камеру; 12 - злив в каналізацію; 13 - лійка, в якій відбувається змішування з вапном; 14 - трубопровід подачі аерованої води до фільтра; 15 - щит п'єзометрів; 16 - трубопровід для відведення фільтрату; 17 - вентиль для відводу промивної води; 18 - трубопровід відведення промивної води; 19 - вентиль на трубопроводі подачі води до фільтру; 20 - шар завислого осаду; 21 – трубопровід подачі водопровідної води; 22 - вентиль на трубопроводі подачі водопровідної води; 23 – пристрій для постійного перемішування розчину вапна; 24 – вентиль для періодичної продувки

На очищення подавалась вода із водопровідної мережі міста Рівне. В якості фільтрувального матеріалу використовувався спінений полістирол типу ПСВ-С (підтип ПСВ-$С^N$-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.

Робота лабораторної установки полягає в наступному. Водопровідна вода по трубопроводу попадає в переливний бак, який забезпечує постійний напір і, відповідно, постійні витрати води на установку. Змішування водопровідної води з розчином вапна проводиться у лійці контактної камери. З контактної камери вода з реагентом подається у нижню частину фільтрувальної колони, де спочатку проходить шар завислого осаду та фільтрувальну засипку, а потім очищена вода збирається у промивному баку, звідки по трубі відводиться споживачу.

Завислий осад являє собою полідисперсну систему, в якій швидкість осадження часток залежить від об'ємної концентрації осаду [4]. Для формування шару завислого осаду та отримання неохідного ефекту потрібен певний час. Згідно [5], для створення необхідних умов для роботи осаду слід спочатку давати менші швидкості потоку і збільшувати дозу реагенту. 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. Проте такий осад може знаходитись у завислому стані тільки при певній швидкості фільтрування. За попередніми дослідженнями такою швидкістю є швидкість до 4,3 м/год [6].

В процесі досліджень щогодини контролювались швидкість фільтрування, втрати напору в колоні, а також аналітичні показники у вихідній воді та фільтраті: pH; загальна та кальцієва жорсткість; лужність. Фільтрування проводилось з постійною швидкістю фільтрування та періодичною продувкою осаду. Обов'язковим є підтримання pH в контактній камері на рівні ≥ 9,0.

Після закінчення фільтроциклу проводиться промивка фільтрувальної колони. Для цього перекривається подача вихідної води та відкривається вентиль на трубі відводу промивної води. Тоді очищена вода з промивного баку проходить через утримуючу решітку та засипку фільтру. При цьому вона вимиває забруднення із засипки та утворений надлишок завислого осаду та відводиться в каналізацію. Обов'язково для подальшої ефективної

роботи при включенні установки в підфільтровому просторі потрібно залишати шар завислого осаду висотою 0,2…0,24 м.

Усереднені показники водопровідної води за період досліджень були такими: жорсткість – 5,83 ммоль/дм^3, лужність – 6,60 ммоль/дм^3, pH – 7,67.

В табл. 1 та на рис.3 наведені дані фільтроциклу при швидкості фільтрування 3,5-4,0 м/год. Фільтроцикл тривав 12 год. Під час фільтроциклу в фільтрувальній колоні спостерігався шар завислого осаду в 30 см (рис. 4). В кінці фільтроциклу проводилося промивання з інтенсивністю промивання 10…15 л/с×м^2, тривалість промивання залежить від висоти підфільтрового простору та інтенсивності промивання. Залишили в нижній частині фільтрувальної колони шар завислого осаду.

Таблиця 1 -Результати досліджень процесу пом'якшення при швидкості 3,5-4,0 м/год

Час від початку фільтроциклу, год	$Ж_{заг}$, ммоль/дм^3	$Ж_{Ca}$, ммоль/дм^3	$Ж_{Mg}$, ммоль/дм^3	Лужність, ммоль/дм^3	$pH_{вх}$	$pH_{ф}$	Періодична продувка, мл	h, см
1,00	1,90	0,80	1,10	2,30	9,15	9,35	100	8,0
2,00	2,10	1,00	1,10	2,50	9,65	9,10	100	9,1
3,00	2,00	0,90	1,10	2,30	9,30	9,30	100	9,8
4,00	1,85	0,70	1,15	2,00	9,55	9,55	100	10,1
5,00	1,90	0,70	1,20	2,10	9,60	9,60	200	10,4
6,00	1,95	0,75	1,20	2,30	9,30	9,30	150	10,5
7,00	1,90	0,70	1,20	2,10	11,10	9,40	200	12,5
8,00	1,50	0,80	0,70	1,75	9,25	10,10	-	14,5
9,00	1,60	0,75	0,85	1,70	9,70	10,20	150	16,3
10,00	1,80	0,70	1,10	2,25	9,20	9,85	100	16,6
11,00	2,30	1,00	1,30	2,85	10,05	9,15	125	16,7
12,00	1,90	0,90	1,00	2,40	9,80	9,50	200	17,1

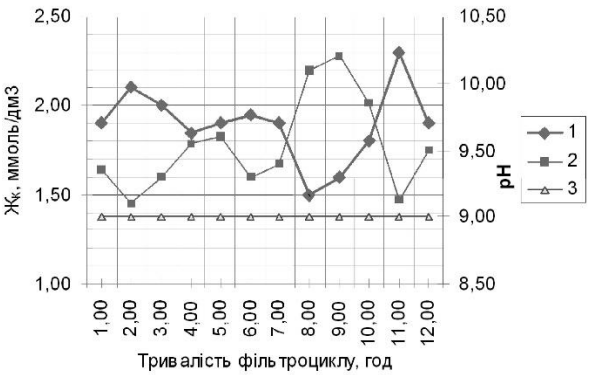

Рис. 3. Зміна загальної жорсткості в період фільтроциклу (12 год) при швидкості V=3,5-4,0 м/год:
1 – значення загальної жорсткості у фільтраті, ммоль/дм³; 2 – значення pH у фільтраті; 3 – необхідне мінімальне значення pH – 9,0.

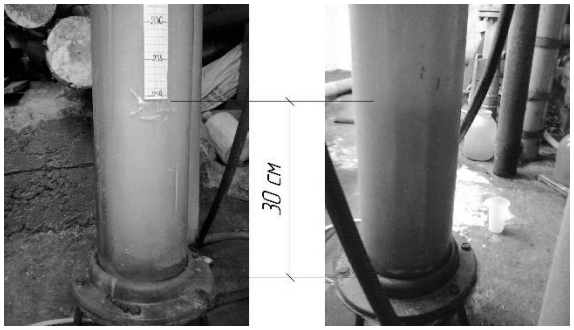

Рис. 4. Фото шару завислого осаду, що спостерігався під час фільтроциклу

Під час проведення лабораторних досліджень ми отримали суттєвий результат пониження жорсткості вхідної води при застосуванні запропонованого нами методу. Максимально від 5,83 ммоль/дм^3 до 1,5 ммоль/дм^3.

Використання пінополістирольних фільтрів із зростаючим шаром завислого осаду дозволить інтенсифікувати процес

пом'якшення води завдяки спрощенню технологічної схеми шляхом зведення її замість трьох споруд – прояснювача, баку розриву струменя та контактного фільтра, до однієї, в якій буде відбуватися змішування, пом'яшення і фільтрування; підвищити ефективність очищення води від іонів жорсткості; зменшити витрати на ресурси.

Запропонований метод може бути використаний в підготовці води на підприємствах, у технологічних схемах яких застосовується паросилове господарство, яке потребує води відповідної якості. Зокрема, для прикладу, на одній з дільниць по підготовці води хімічного підприємства ПАТ «РІВНЕАЗОТ», де за вимогами технологів величина жорсткості не повинна перевищувати 2...2,5 ммоль/дм^3.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Николадзе Г. И. Технология очистки природних вод: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 479 с.
2. Аксенов В. И., Щелоков Я. М., Галкин Ю. А., Ничкова И. И. Водное хазяйство промышленных предприятий: Справочное издание: Книга 3/ Под ред. В. И. Аксенова. – М.: Теплотехник, 2007. – 368 с.
3. Орлова А.М., Орлов В.О. Водопідготовка. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. – Рівне: НУВГП, 2009. - 182 с.
4. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Строиздат, 1964. – 155с.
5. Кургаев Е. Ф. Основы теории и расчета осветлителей.- М.Госстройиздат, 1962. – 163 с.
6. Орлов В. О., Зощук А. М., Мартинов С. Ю, Пінополістирольні фільтри в технологічних схемах водопідготовки. – Рівне: РДТУ, 1999._143.: іл.

УДК 628.16

Антонов А.В., Михайленко В.Г.,
Институт проблем машиностроения им А.Н. Подгорного НАН Украины,
Юрченко В.А.
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕМБРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ВОДООЧИСТНЫХ СИСТЕМАХ

Введение. Минерализованные сточные воды образуются практически на всех крупных промышленных предприятиях. Особенно большие объемы минерализованных стоков образуются на объектах, где используют системы умягчения воды – теплоэнергетических и химических предприятиях. Сточные воды после регенерации и промывки таких систем содержат высокие концентрации хлоридов натрия, магния и кальция. Это объясняется низкой эффективностью использования регенерационного раствора при натрий-катионитовом умягчении.

Попытки усовершенствования систем ионообменной очистки с целью повышения их эффективности не привели к существенному сокращению объема минерализованных стоков. На 1 эквивалент извлекаемой жесткости по-прежнему расходуется до 2,5 эквивалентов поваренной соли. Использование мембранных технологий в системах очистки воды так же не снимает проблему образования высокоминерализованных сточных вод, поскольку, как правило, требует предварительного умягчения воды [1, 2]. Использование же мембранных методов обработки неподготовленных предварительно вод, как правило, приводит к загрязнению мембран и быстрому выходу их из строя [3 - 5].

Существующие в населенных пунктах и на предприятиях очистные сооружения, в основном, рассчитаны на удаление из воды суспендированных минеральных и