

С.Р. СТАСЮК, кандидат технічних наук
Інститут водних проблем і меліорації НААН, м.Київ

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ І ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ ПРИ ЇЇ ВАПНУВАННІ ТА ВИСХІДНОМУ ФІЛЬТРУВАННІ ЧЕРЕЗ ПЛАВАЮЧЕ ЗАВАНТАЖЕННЯ

Проаналізовано результати досліджень процесів знезалізнення і зм'якшення води при застосуванні методу вапнування з наступною обробкою води у відстійниках або на пінополістирольних фільтрах.

Ключові слова: знезалізнення, зм'якшення, вапно, швидкість фільтрування води, пінополістирольні фільтри, брудомісткість фільтра, ефективність очищення води.

Проанализированы результаты исследований процессов обезжелезивания и умягчения воды с применением метода известкования с последующей обработкой воды в отстойниках или на пенополистирольных фильтрах.

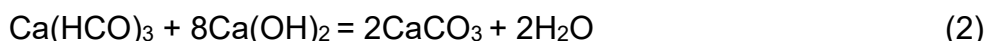
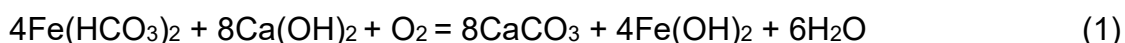
Ключевые слова: обезжелезивание, умягчение, известь, скорость фильтрования воды, пенополистирольные фильтры, грязеемкость фильтра, эффективность очистки воды.

The results of researches about iron removal processes and water softening using lime method with the following water treatment in sedimentation tanks or polystyrene foam filters have been analyzed.

Key words: iron removal, softening, lime, water filtration rate, polystyrene foam filters, filter dirt-holding capacity, water treatment efficiency.

Постановка проблеми. Як відомо [1] в локальних системах сільськогосподарського водопостачання застосовуються переважно підземні води, оскільки вони набагато чистіші від поверхневих, але в них є багато сполук заліза, марганцю і солей жорсткості (кальцію і магнію), що вимагає розробки дешевих, надійних і високоефективних водоочисних установок для їх використання в сільській місцевості.

Згідно існуючих нормативів [2] у питній воді заліза не повинно бути більше $0,2 \text{ мг/дм}^3$, а жорсткість не повинна перевищувати 7 мг-екв/дм^3 . При сумісному знезалізненні і зм'якшенні води може застосовуватись реагентний метод очистки шляхом подачі розчину вапна Ca(OH)_2 [3;4], при якому відбуваються хімічні реакції:



На видалення 1 мг двоцвалентного заліза витрачається 2,64 мг вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$, і 0,14 мг кисню O_2 , а доза вапна для зменшення жорсткості води визначається за формулою:

$$D_{\text{в}} = 28 \left(\frac{\text{CO}_2}{22} + \text{Ж}_{\text{к}} + 0,5 \right), \text{ мг/дм}^3 \quad (3)$$

де CO_2 – концентрація у воді вільного вуглекислого газу, мг/дм³; $\text{Ж}_{\text{к}}$ – карбонатна жорсткість води, мг-екв/дм³; 0,5 – надлишок вапна для забезпечення більшої повноти реакції, мг-екв/дм³.

В традиційних технологіях сумісного знезалізнення і зм'якшення підземних вод [3,4] застосовують аерацію води з наступною обробкою її реагентами та освітленням у тонкошарових відстійниках і швидких піщаних фільтрах. Ефективність очищення води залежить від множини факторів:

$$C_{\text{ф}} = f(C_{\text{в}}, d_{\text{е}}, K_{\text{н}}, H_{\text{ф}}, V_{\text{ф}}, D_{\text{р}}, t_{\text{ф}}, G_{\text{б}}) \quad (4)$$

де $C_{\text{в}}$ і $C_{\text{ф}}$ – якісні показники відповідно вихідної і фільтрованої води, мг/дм³; $d_{\text{е}}$ – еквівалентний діаметр гранул фільтрувального завантаження, мм; $K_{\text{н}}$ – коефіцієнт неоднорідності цього завантаження; $H_{\text{ф}}$ – товщина фільтрувального шару завантаження, м; $V_{\text{ф}}$ – швидкість фільтрування води, м/год; $D_{\text{р}}$ – доза хімічних реагентів, що вводяться у вихідну воду, мг/дм³; $t_{\text{ф}}$ – тривалість перебування реагентів у воді, хв; $G_{\text{б}}$ – питома брудомісткість фільтрувального завантаження, кг/м².

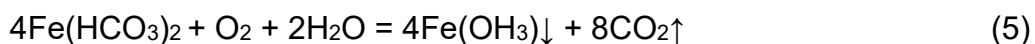
Оптимальним рішенням вважається таке, при якому забезпечується нормативна якість очищеної води при найменших капітальних і експлуатаційних витратах. При знаходженні цього оптимуму в багатофакторних залежностях (4) слід користуватися методикою раціонального планування експериментів [5].

Нині для знезалізнення підземних вод найбільшого поширення набув метод насичення вихідної води киснем шляхом спрощеної її аерації при падінні дрібних крапель води з висоти не менше 0,5 м. Але згідно [6, п.10.21.4] цей метод можна застосовувати лише при наступних показниках якості вихідної води:

- вміст сполук загального заліза – до 10 мг/дм³, у тому числі двоцвалентного (Fe^{2+}) не менше ніж 70%;
- рН – не менше ніж 6,8;
- окисно – відновлювальний потенціал $E_{\text{h}} > 100$ мВ;
- лужність – більше ніж 2 ммоль/дм³;
- вміст амонію – не більше 1,5 мг/дм³;
- перманганатна окиснюваність – не більше ($0,15 \text{Fe}^{2+} + 3$), мгО/дм³;
- вміст метану – не більше 0,5 мг/дм³.

Гашене вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$, як найбільш дешевий реагент, широко використовується в технологіях очищення води для коригування її рН та зм'якшення води [7,8].

При аерації підземних вод, що вміщують двовуглекисле залізо $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, процес його окиснення в трьохвалентну форму відбувається за таким рівнянням:



Процеси окиснення і гідролізу бікарбонату заліза уповільнюються виділенням вільної вуглекислоти CO_2 , яка, утворюючи у воді вугільну кислоту H_2CO_3 , знижує величину рН води. Для прискорення процесу окиснення та гідролізу необхідно видаляти з води CO_2 через повітровіддільник або уводити в неї вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

При протіканні хімічних процесів за рівнянням (5) внаслідок гідролізу 1 мг/дм^3 заліза Fe^{2+} збільшується вміст вільної вуглекислоти CO_2 на $1,6 \text{ мг/дм}^3$ та зменшується лужність води на $0,036 \text{ ммоль/дм}^3$.

При вапнуванні води зменшується концентрація в ній вуглекислоти CO_2 за рівнянням:



що призводить до підвищення рН води, а отже і кращого протікання її знезалізнення.

Цей процес залежить від дози розчину вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і часу перебування його у воді (табл.1).

Таблиця 1

Залежність рН води від дози розчину вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і часу перебування його у воді (при рН вихідної води – 6,5)

Доза вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$, мг/дм ³	рН після перебування вапна у воді t , хв		
	5	10	15
2,5	7	7,6	8
3,5	7,7	8,1	8,4
4,5	8,3	8,4	8,8

Як видно з табл.1, із збільшенням дози вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і часу перебування його у воді t , рН води, а отже і ефективність її знезалізнення буде збільшуватись.

На окиснення 1 мг Fe^{2+} витрачається $0,143 \text{ мг O}_2$. Процес збагачення води киснем при її розбризуванні в повітрі проходить досить інтенсивно. При падінні крапель води з висоти $0,5 \text{ м}$ вміст кисню у воді сягає 5 мг/дм^3 [7], що є достатнім для окиснення $5 : 0,143 = 35 \text{ мг/дм}^3 \text{ Fe}^{2+}$ у Fe^{3+} .

Оскільки температура підземних вод знаходиться в межах $5...7^\circ\text{C}$, то ступінь окиснення двовалентного заліза при спрощеній аерації води становить $60...70\%$ [7]. Видаляти із води сполуки заліза і солі жорсткості

доцільно реагентним методом на установці для знезалізнення і зм'якшення води [9], методика розрахунку якої наведена у [4].

В ній відбуваються такі основні технологічні процеси (рис.1):

- аерація води з насиченням її киснем повітря;
- виділення газів з води (переважно CO_2) для підвищення рН води, зменшення витрат вапна для зв'язування CO_2 та виключення підфільтрової кольматації завантаження в контактному прояснювальному фільтрі (КПФ);
- забезпечення постійної швидкості фільтрування води на КПФ протягом фільтроциклу;
- подача розрахункової дози розчину вапна для знезалізнення і зм'якшення води;
- створення сприятливого середовища для закріплення залізобактерій, що ефективно переводять залізо з Fe^{2+} у Fe^{3+} ;
- здійснення висхідного руху води на КПФ через шар завислого осаду, що утримується від виносу з фільтрованою водою пінополістирольним завантаженням;
- утворення крупних пластівців та стиснене їх осідання у підфільтровому просторі КПФ.

В період фільтрування води при відкритих засувках **15,17-19** і **21** вихідна вода подається через аератор **3** на біофільтр **2**, де відбувається насичення її киснем O_2 та видалення вуглекислоти CO_2 через повітропропускні вікна **4**. На тонких нитках волокнистого завантаження **6**, що натягуються між колосниковими решітками **5**, закріплюються залізобактерії, що інтенсивно окиснюють Fe^{2+} у Fe^{3+} , споживаючи при цьому для своєї життєдіяльності енергію, що вивільняється. В оброблену воду по трубці **7** подається розрахункова доза розчину вапна і утворена суміш надходить в КПФ **8**, в якому рухається знизу догори. У підфільтровому просторі **9**, відбуваються складні фізико-хімічні і біологічні процеси:

- утворення і укрупнення пластівців з нерозчинних сполук $\text{Fe}(\text{OH})_2$ і CaCO_3 ;
- стиснене осідання їх як в освітлювачі із завислим осадом в умовах безперервного збільшення концентрації цього активного мулу, що каталітично прискорює процес окиснення Fe^{2+} у Fe^3 та флокуляції утворених частинок.

Як показали дослідження, виконані нами та іншими авторами [3,4,8], цей мул виконує основну роль у видаленні з води пластівців $\text{Fe}(\text{OH})_2$ і CaCO_3 . Він являє собою полідисперсну систему, в якій швидкість осадження пластівців залежить від їхньої крупності, об'ємної концентрації і швидкості висхідного фільтрування води. Ефективність очищення води залежить від кількості цього завислого осаду, що припадає на 1 м^2 площі фільтруючої поверхні КПФ, тобто питомої брудомісткості фільтра G_6 . Очищена вода відповідає нормативним вимогам, коли питома брудомісткість КПФ знаходиться в межах між її мінімальними $G_{6,\text{min}}$ та максимальними $G_{6,\text{max}}$ значеннями.

Максимальна питома брудомісткість КПФ визначає час закінчення фільтрування води і початок його промивання, інтенсивність $q_{\text{пр}}$ і тривалість $t_{\text{пр}}$ якого має бути розрахована з умови зменшення питомої брудомісткості КПФ від $G_{\text{б.мак}}$ до $G_{\text{б.мін}}$, після чого фільтроцикл продовжується.

Висновки

При вапнуванні підземних вод, що мають підвищений вміст заліза і солей жорсткості відбувається не тільки зм'якшення води, але й підвищується рН води, що забезпечує зростання ефективності процесів її знезалізнення при використанні спрощеної аерації шляхом розбризкування вихідної води на дрібні краплі. Ці процеси ефективно здійснюються на установці конструкції ІВПІМ НААН.

Список літератури

1. Хоружий П.Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. К.: Аграрна наука, 2008. 534 с.
2. ДСанПіН 2.2.4–171–10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. МОЗУ 12.05.2010, № 400. МЮУ 01.07.2010, № 452/17747.
3. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод: Учеб. для вузов / Г.И. Николадзе. М.: Высшая школа, 1987. 479 с.
4. Стасюк С.Р. Розрахунок установок для знезалізнення і зм'якшення підземних вод в системах сільськогосподарського водопостачання / С.Р. Стасюк, Т.П. Хомутецька, П.Д. Хоружий. Меліорація і водне господарство, 2015, вип.102. С.20-24.
5. Протодьяконов М.М. Методика рационального планирования экспериментов / М.М. Протодьяконов, Р.И. Тедер. М.: Наука, 1970. 76 с.
6. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К, 2013. 172 с.
7. Клячко В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, И.А. Апельцин. М.: Стройиздат, 1971. 578 с.
8. Юрков Є.В. Знезалізнення води з використанням лугомістких реагентів / Є.В. Юрков, В.А. Потієнко, О.Д. Юрков. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Наук.-техн. зб. Вип.27. К.: КНУБА, 2016. С.445-450.
9. Патент на корисну модель №85009. Установа для знезалізнення і зм'якшення води / Стасюк С.Р., Хомутецька Т.П., Хоружий П.Д. Бюл.№21, 11.11.2013р.
10. Ковальчук В.А. Застосування методу вапнування на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду в схемах водопідготовки промислових підприємств / В.А. Ковальчук, Л.М. Одуд. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Наук.-техн. зб. Вип.27. К.: КНУБА, 2016. С.163-169.

Стаття надійшла до редакції 13.05.17