

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЗАТРИМКИ ГІДРОКСИДУ ЗАЛІЗА РІЗНИМИ ТИПАМИ ЗАСИПКИ

**Орлов В.О., Мартинов С.Ю., Куницький С.О., Орлова А.М.**

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

*Розглянуто питання знезалізнєння води для питного водопостачання при контактному знезалізнєнні води. Наведена кінетика пошарової затримки гідроксиду заліза при фільтруванні в напрямку збільшення крупності засипки. Відмічено, що при знезалізнєнні практично вся засипка приймає участь в процесі знезалізнєння.*

**Ключові слова:** підземні води, знезалізнєння, зерниста засипка.

*Рассмотрены вопросы обезжелезивания воды для питьевого водоснабжения при контактном обезжелезивании воды. Приведена кинетика послойной задержки гидроксида железа при фильтровании в направлении увеличения крупности загрузки. Отмечено, что при обезжелезивании практически вся загрузка принимает участие в процессе обезжелезивания.*

**Ключевые слова:** подземные воды, обезжелезивание, зернистая загрузка.

*The problems of iron removal of water for drinking water supply in contact iron removal of water considered. Shows the kinetics of iron hydroxide layered delays by filtration with increasing size of the download. It was noted that almost all the loading involved in the process of iron removal.*

**Keywords:** ground water, iron removal, granular loading.

**Підземні води** з великої глибини не містять завислих часток, не мають забарвлення, але можуть мати значний вміст заліза та сірководню. Для знезалізнєння води з незначною концентрацією заліза найчастіше використовують *безреагентний метод спрощеною аерацією та фільтруванням – контактне знезалізнєння*. Спосіб є найпростішим, дешевим і може використовуватись для вод з концентрацією заліза до 5 мг/дм<sup>3</sup>, рН більше 6,8 та інших обмеженнях [1, 7].

**Достатня ступінь** знезалізнення починається після формування на зернах засипки певної маси [5, 6] каталітичної плівки, час формування цієї маси називається часом зарядки фільтра.

За даними [2, 4] на поверхні зерен засипки «плівка» має від 8...30 % двовалентного заліза та 70...90 % тривалентного заліза. При наявності у воді сірководню та кремнієвої кислоти в склад плівки може входити до 10 % сульфід заліза, вільної сірки, силікатів. В промивній воді фільтра знаходиться практично 100 % тривалентного заліза.

**За пропозицією** НУВГП в практику очищення води все більше впроваджуються фільтри з плаваючою пінополістирольною засипкою з висхідним фільтраційним потоком.

Потрібно відмітити, що фізико-хімічні процеси контактного знезалізнення повинні проходити подібно, як в фільтрах з важкою, так і з плаваючою засипками. Нами проводилися дослідження на діючих Горбаківській та Гоцанській станціях знезалізнення води відповідно на фільтрах з важкою та плаваючою засипками.

На Горбаківській станції контактного знезалізнення води за проектом вода із камери поступала в центральний канал фільтрів. Для збільшення інтенсивності аерації в фільтрах були встановлені аераційні жолоби з перегородками на їх дні і вільним переливом через крайки. Очищення води забезпечують 16 фільтрів, що розміщені на двох станціях, – по 8 на кожній. Фільтри завантажені гранітним щебенем. Товщина шару щебеневої засипки діаметром 5...10 мм фільтрів складає близько 1,9 м. Визначення концентрації розчинного кисню у воді проводилося методом Вінклера (рис. 1).

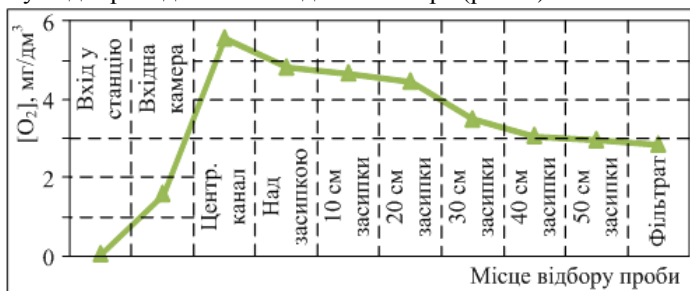


Рис. 1 Зміна концентрації кисню по шляху руху води

Кисень у воді, що надходить на станцію знезалізнення, відсутній. Концентрація кисню після першого ступеню аерації становить 1,58 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, що не зовсім достатньо для повного завершення процесу знезалізнення. Концентрація кисню після проходження 40 см засипки змінюється незначно і у фільтраті становить 2,84 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Паралельно з відбором проб для визначення концентрації кисню, були відібрані проби для визначення закисної та окисної форм заліза (рис. 2).

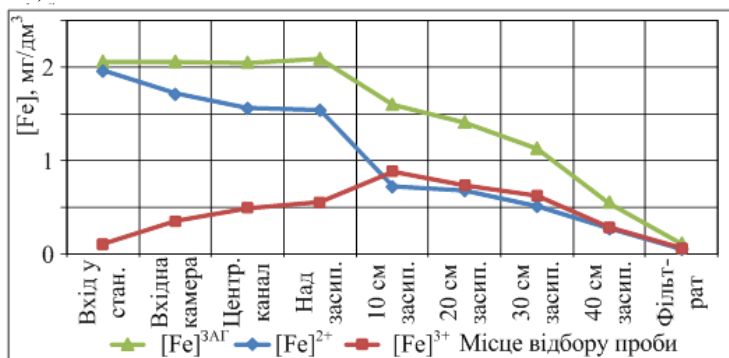


Рис. 2 Динаміка змін форм заліза по шляху руху води

При проведенні досліджень, на станцію надходила вода з концентрацією заліза  $2,06 \text{ мг/дм}^3$  та кількістю двовалентного заліза  $95,1\%$ . На підході до засипки кількість двовалентного заліза зменшується до  $73,7\%$  – переходячи в тривалентну форму. В перших шарах засипки спостерігається зменшення співвідношення між закисним та загальним залізом, що пов'язано з каталітичним впливом осаду в міжпоровому просторі та плівки на поверхні зерен засипки на процес окислення заліза. Проте, в подальшому це співвідношення практично не змінюється та становить  $44..49\%$ . Загальна ефективність знезалізнення води становить  $95\%$ . Зменшення концентрації заліза на половину спостерігається після  $30$ -ти сантиметрового шару засипки. При цьому, вміст заліза у фільтраті становить  $0,11 \text{ мг/дм}^3$ , що відповідає чинним нормам.

На Гошанській станції контактного знезалізнення вода очищується на чотирьох пінополістирольних фільтрах з наступними характеристиками засипки:  $d_{10}=2,05 \text{ мм}$ ,  $d_{80}=2,46 \text{ мм}$ ,  $d_{EK}=2,8 \text{ мм}$ ,  $K_n=2,4$ .

Для дослідження ефективності пошарового знезалізнення води на другому фільтрі по його висоті були влаштовані пробовідбірники. Крім того, проби води для визначення форми заліза відбиралися з вихідної води, фільтрату та в підфільтровому просторі фільтра і консервувалися соляною кислотою за загальноприйнятою методикою. Результати досліджень наведені на рис. 3.

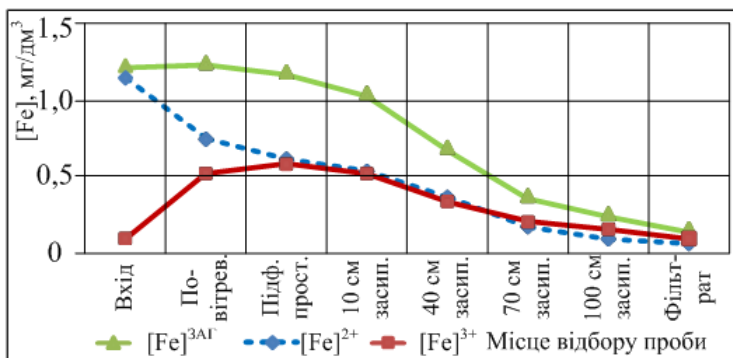


Рис. 3 Динаміка змін форм заліза по шляху руху води (15 год. фільтрування)

Отже, підземна вода в переважній більшості містить закисне залізо (>91%). Після контакту з киснем повітря закисне залізо починає окислюватися і у підфільтровому просторі його вміст становить 51...62% від загального. В засипці спостерігається незначне зменшення процентного вмісту двовалентного заліза з 53% до 40%. І, в середньому, для засипки можна прийняти співвідношення між закисною та окисною формою заліза як 45:55. Потрібно зазначити, що подібне співвідношення було отримане і при дослідженнях фільтрів зі щелевеною засипкою. Спостерігається поступове затримання сполук заліза всіма шарами засипки. Ефективність вилучення сполук заліза окремими шарами засипки наступна: 0...10 см – 15...24%, 0...40 см – 27...44%, 0...70 см – 57...80%, 0...100 см – 72...93%, 0...130 см – 85...94%.

Оскільки співвідношення форм заліза по висоті засипки практично не змінюється, то ускладнювати модель врахуванням різних форм заліза, на нашу думку, недоречно.

**Процес адсорбції заліза** на поверхні катализатора (осаду та зерен) проходить значно швидше ніж окислення заліза та утворення нових порцій катализатора. Такий процес називається кінетично контрольованим і дифузія на нього мало впливає. Тому, рівняння балансу можна записати наступним чином

$$m \frac{\partial c}{\partial t} + V \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

де  $m$  – поруватість засипки;  $C$  – масова концентрація заліза у воді;  $t$  – тривалість фільтрування;  $V$  – швидкість фільтрування;  $x$  – координата по висоті засипки;  $\rho$  – густина осаду.

При моделюванні роботи незалізніювальних фільтрів обов'язково повинна враховуватися змінна витрата води (швидкість фільтрування), що пов'язано з використанням багатозонних тарифів на електроенергію, насосів з ПЧД, з особливостями сумісної роботи фільтрів та напірно-регулювальних споруд в сільських системах водопостачання тощо. Практично в усіх раніше запропонованих моделях швидкість фільтрування приймається постійною.

Для описання кінетики процесу очищення води в шарі засипки різними авторами пропонуються різні види рівнянь – лінійні та нелінійні, з врахуванням та без врахування раніше прилиплих частинок, з розділенням форм осаду, що вимиваються та не вимиваються тощо.

При контактному незалізненні води рівняння кінетики можна записати наступним чином

$$\frac{\partial c}{\partial x} = -b_1 \cdot C_{OC} - b_2 \cdot C_{ЗЕР} + a \cdot \rho, \quad (2)$$

де  $b_1 \cdot C_{OC}$  – доданок враховує затримання заліза в осаді, що накопичується в поровому просторі засипки;  $b_2 \cdot C_{ЗЕР}$  – доданок враховує затримання заліза на поверхні зерен засипки;  $a \cdot \rho$  – доданок враховує відрив раніше затриманих частинок.

Практична складність окремого врахування перших двох доданків правої частини рівняння (2) приводить до наступної залежності

$$\frac{\partial c}{\partial x} = -b \cdot C + a \cdot \rho, \quad (3)$$

де  $a$ ,  $b$  – параметри фільтрування, що визначають інтенсивність відриву та прилипання частинок і залежать від умов фільтрування.

Для контактної незалізнення параметр  $b$  пропонується визначати за формулою

$$b = \varphi \cdot \beta \cdot V^{\varepsilon_3} \cdot d^{\varepsilon_4}, \quad (4)$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\varepsilon_3$ ,  $\varepsilon_4$  – коефіцієнти;  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує каталітичний вплив осаду.

Швидкість окислення заліза в засипці можна визначити за формулою

$$\frac{-\partial[Fe^{2+}]}{\partial t} = \frac{k_0 \cdot S \cdot [Fe^{2+}] \cdot [O_2]}{[H^+]^n}, \quad (5)$$

де  $k_0$  – коефіцієнт, що характеризує каталітичні властивості;  $[Fe^{2+}]$ ,  $[O_2]$ ,  $[H^+]$  – відповідно концентрації двовалентного заліза, розчиненого кисню та водню;  $n$  – стехіометричний коефіцієнт, який приймається рівним 2;  $S$  – питома поверхня.

Питому поверхню стінок порових каналів зернистої засипки можна визначити за формулою

$$S = \frac{6 \cdot \alpha \cdot (1-m)}{d}, \quad (6)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт форми зерна.

Прийнявши співвідношення між закисним та загальним залізом –  $[Fe^{2+}] = \psi \cdot [Fe]$  та врахувавши, що  $[H^+] = 10^{-pH}$ ,  $\partial t = \partial x/V$ , і підставивши рівняння (6) в (5), отримаємо

$$-\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{6 \cdot \alpha \cdot k_0 \cdot \psi \cdot (1-m) \cdot [Fe] \cdot [O_2]}{10^{-2pH} \cdot V \cdot d}, \quad (7)$$

Тобто, враховуючи рівняння (3) та (7), параметр  $b$  визначається за формулою

$$b = \frac{6 \cdot \alpha \cdot k_0 \cdot \psi \cdot (1-m) \cdot [O_2]}{10^{-2pH} \cdot V \cdot d}, \quad (8)$$

Рівняння (7) та (8) описують безвідривну кінетику затримання заліза в зернистій засипці та опосередковано враховують вплив осаду в міжпоровому просторі засипки, кількість якого з часом фільтрування збільшується. Це призводить до зменшення пористості, зміни поверхні стінок порових каналів та збільшення множника  $(1 - m)$ .

#### Висновки.

**Отже, на ефективність контактного знезалізнєння** впливають швидкість фільтрування, концентрація заліза у вихідній воді та її фізико-хімічні показники, інтенсивність насичення води киснем, конструктивні особливості аераційних пристроїв та фільтрів. Проте, в фільтрах з важкою та плаваючою засипками процес контактного знезалізнєння протікає подібно – найбільш інтенсивно знезалізнюють воду перші по ходу води шари засипки, концентрація кисню у воді по мірі проходження засипки зменшується, до поверхні фільтруючої засипки підходить вода із значною концентрацією тривалентного заліза.

#### Література

1. Орлов В. О. Знезалізнєння підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням. [Монографія] / В. О. Орлов – Рівне : НУВГП, 2008. – 158 с.
2. Балашова Г. В. Исследование окислительно-восстановительного потенциала для характеристики обезжелезивания воды / Г. В. Балашова // Научные труды АКХ. Водоснабжение. – М. : АКХ. – 1969. – № 52. – С. 82-89.
3. Золотова Е. Ф. Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода / Е. Ф.Золотова, Г. Ю. Асс. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с.

4. Николадзе Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 160с.
5. Станкявичюс В. И. Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок) / В. И. Станкявичюс. – Вильнюс : Мокслас, 1978. – 120 с.
6. Технические записки по проблемам воды «Дегремон» / К. Барак, Ж. Бебен, Ж. Бернар и др : – М. : Стройиздат, 1983. – 607 с.
7. Тугай А. М. Водопостачання / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – К. : Знання, 2009. – 735 с.