

супроводжується збільшенням деформацій стиснутої арматури (рис. 2, крива 1) та зменшенням деформацій стиснутого бетону (рис. 3, крива 1).

Вистигаючи після нагрівання, з боку стиснутої зони зразка видно, що відбувається збільшення деформацій розтягнутої арматури (рис. 1, крива 2), що супроводжується збільшенням деформацій стиснутого бетону та арматури (рис. 2, 3, криві 2).

Визначення залишкових деформацій бетону та арматури за залежностями для випадку загального нагрівання показало незадовільну розбіжність з експериментальними величинами. Тому в подальших дослідженнях необхідно уточнити наявні теоретичні залежності для випадку місцевого нагрівання.

1. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М.2005. 2. UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. Department of Defense USA. 2005. 3. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с. 4. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений поврежденных пожаром. /НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с. 5. Була С.С. Визначення кривизни та температурного зусилля у позацентрово-стиснутих залізобетонних елементах при дії місцевого нагріву та експлуатаційного навантаження. // Сучасне промислове та цивільне будівництво: Донбаська національна академія будівництва та архітектури. – Макіївка, 2007. – Т. 3, № 2. – С. 115–124.

УДК 628.356 : 628.1.032

**О.В. Вербовський, Х.П. Качан, В.В. Іванів**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра гідравліки та сантехніки

## **ВПЛИВ АЕРАЦІЇ НА ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ЗАЛІЗА У ПРИРОДНІЙ ВОДІ**

© Вербовський О.В., Качан Х.П., Іванів В.В., 2011

**Проаналізовано форми існування заліза у природних водах та методи знезалізнення води. Доведено застосування методу спрощеної аерації для зниження вмісту заліза у воді. Спроектовано лабораторний стенд та досліджено кінетику знезалізнення природної води.**

**Ключові слова: аерація, знезалізнення води, кінетику знезалізнення природної води.**

**The forms of existence of iron in natural waters and methods of deferrization are analysed. Application of method of the simplified aeration is well-proven for the decrease of content of iron in water. An experimental device is designed and kinetics of the deberriration process is investigated.**

**Key words: aeration, methods of deferrization, kinetics of the deberriration process.**

**Постановка проблеми.** Підземні води часто містять підвищений вміст заліза ( для питної води не більше ніж 0,3 мг/дм<sup>3</sup>) [1]. Надмірна кількість заліза у питній воді негативно впливає на стан здоров'я людини, спричиняє появу неприємного запаху, каламутності, забарвлення води, призводить до заростання водопровідних труб, є причиною неякісного функціонування текстильної, харчової, паперової, хімічної та інших видів промисловості. Тому актуальності

набуває проблема видалення підвищеного вмісту заліза з води за допомогою сучасних фізико-хімічних методів та обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Різні форми і концентрації заліза, що трапляються в природних водах, зумовило необхідність розроблення низки методів, технологічних схем і установок знезалізнення води. У підземній воді залізо зазвичай міститься у формі розчину бікарбонату частково гідролізованого. Вода в цьому разі є безколірною, але, перебуваючи на повітрі, двовалентне залізо окислюється і вода набуває бурого відтінку.

У природі залізо перебуває в двох формах: окислення  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  та в комплексній формі.

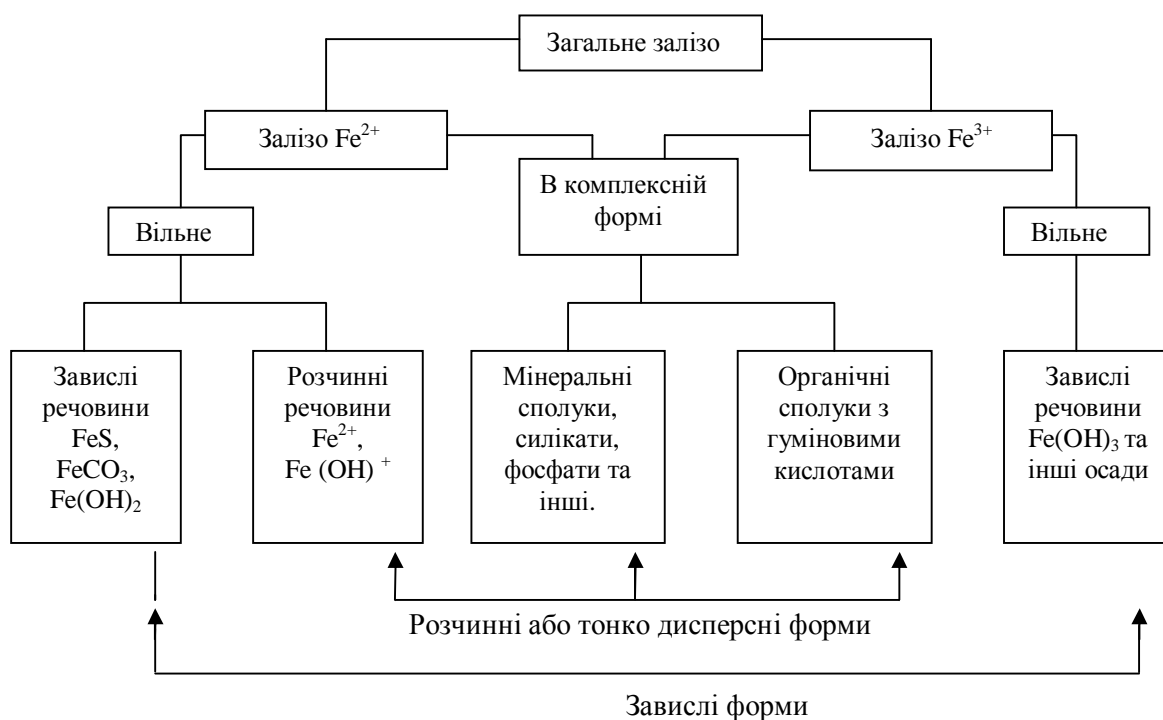


Рис 1. Схеми існування різних форм заліза у воді [2]

Наявність різних форм сполук заліза у воді наведено на рис. 1 [2].

За наявності у воді сульфатів, в ній утворюється асоціат  $\text{FeSO}_4$ . За наявності у воді сульфідів залізо може перебувати у вигляді тонкодисперсної зависі –  $\text{FeS}$ .

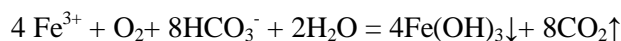
У разі збагачення води розчинним киснем, двовалентне залізо окислюється до тривалентного, гідролізується і утворює малорозчинний осад гідроксиду заліза, який перебуває у воді у вигляді іонів  $\text{Fe}^{3+}$  і продуктів їх гідролізу [4].

Знезалізнюють воду за такими методами: реагентні, безреагентні, катіонообмінні, біохімічні.

Перші два методи належать до фізико-хімічних методів і передбачають окислення заліза: для реагентних методів – хлором, вапном, перманганатом калію та інших; для безреагентних методів – киснем повітря. Реагентні методи знезалізнення води слід застосовувати при низьких значеннях рН, високій окисленості та нестабільності води. Безреагентні методи знезалізнення можна застосовувати, коли вихідна вода характеризується: рН  $\geq 6,7$  мг-екв/л, вміст вуглекислоти до 80 мг/л і сірководню до 1 мг/л, перманганатна окислюваність – не більше 7 мг  $\text{O}_2$ /л. Метод катіонного обміну полягає в обміні катіонів заліза на катіони натрію та водню завдяки спеціальним завантаженням фільтра. Біохімічний метод передбачає заселення на відповідному носії спеціальних залізобактерій з подальшим фільтруванням на спеціальних фільтрах [3].

Очищення води від сполук заліза – в деяких випадках є доволі важким завданням, яке можна виконати тільки комплексно. Тому досить доступним і дешевим для видалення підвищеного вмісту заліза є метод спрощеної аерації, що досліджено на основі огляду літератури.

Метод спрощеної аерації заснований на здатності води, що містить двовалентне залізо і розчинений кисень, під час фільтрування через зернистий шар, видаляти залізо, а на поверхні зерен завантаження утворювати каталітичну плівку з іонів та гідроксидів дво- і тривалентного заліза і описується рівнянням:



За цього методу не потрібно окислення двовалентного заліза в тривалентне і переведення його в гідроксид, у зв'язку з чим відпадає необхідність в установці дорогих аераційних елементів, що спрощує експлуатацію і знижує вартість очищення.

**Метою роботи** є вивчення кінетики знезалізнення природної води. Для досягнення зазначеної мети було визначено такі завдання:

- розглянути фізико-хімічні основи знезалізнення підземних вод,
- на основі огляду літератури, теоретичних та експериментальних досліджень з'ясувати ефективність застосування спрощеної аерації з фільтруванням.

Вказаний спосіб може бути здійснений на установці, технологічна схема якої показана на рис. 2.

Для насичення води киснем повітря протягом часу  $t$  відбувалася спрощена аерація досліджувальної води. Після проведення аерації воду циркуляційним насосом 2 подавали у фільтр 5 з висотою завантаження кварцового піску 1,9 м. Необхідною умовою для здійснення процесу знезалізнення є наявність на поверхні зерен завантаження «активної плівки» із сполук заліза. Після проходження через фільтр очищена вода надходить у резервуар 7.

Для вивчення кінетики знезалізнення було приготовано модельний розчин з вмістом заліза у воді 3 мг/л. Концентрація заліза у модельному розчині визначається за відомими методиками при  $\text{pH}=7,1$  [5], з використанням фотоелектрокалориметра ФЕК-3.

У результаті досліджень було побудовано калібрувальний графік, що описується такою залежністю:

$$D = 0,69 \cdot C, \quad (1)$$

Середнє квадратичне відхилення  $S = 0,066$ ; коефіцієнт кореляції  $r = 0,993$  (рис. 3). Отримано залежності концентрації заліза від тривалості аерації.

$$C = 3,03 \cdot \exp(-0,149 \cdot t) \quad (2)$$

$$C = 1,094 \cdot \exp(-0,0645 \cdot t) \quad (3)$$

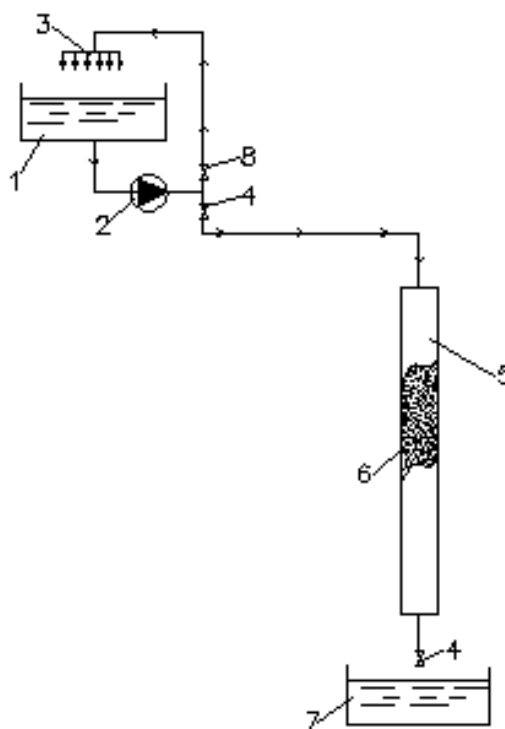


Рис. 2. Схема дослідної установки:  
 1 – резервуар вихідної води;  
 2 – циркуляційний насос; 3 – насадка для розсіювання води; 4 – вентиль для регулювання витрати (швидкості фільтрування); 5 – фільтр  $D=100$  мм,  $H=2,12$  м; 6 – наповнення фільтра – кварцовий пісок  $d=0,5$  мм; 7 – резервуар очищеної води; 8 – вентиль для подавання води на аерацію

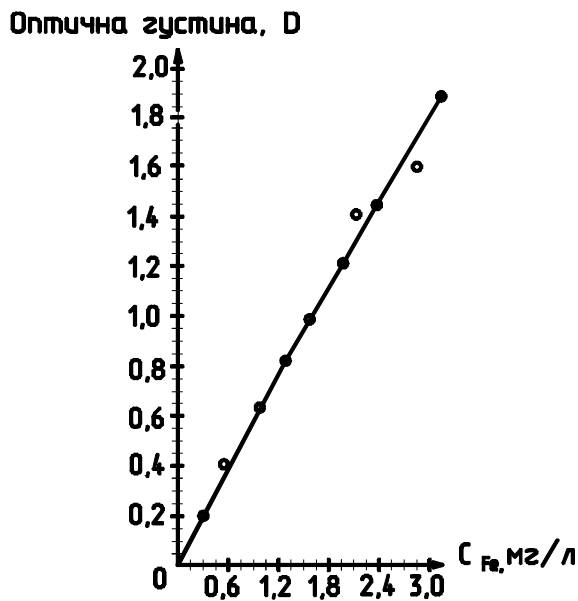


Рис. 3. Калібрувальний графік

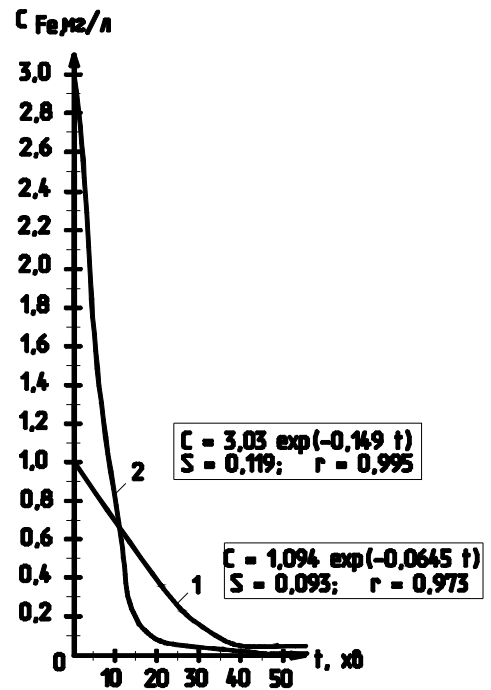


Рис. 4. Графік залежності концентрації заліза від тривалості аерації

1 – концентрація заліза у вихідній воді 1 мг/л;  
2 – концентрація заліза у вихідній воді 3 мг/л

Під час аерування на лабораторній установці більше ніж 30 хв, вміст заліза у воді після фільтрації є меншим, ніж 0,3 мг/л. Внаслідок утворення на поверхні зерен засипки каталітичної плівки, вміст заліза у воді був дуже близький до нуля, що видно з графіка залежності концентрації заліза від тривалості аерації, зображеного на рис. 4.

**Висновки.** Отже, в результаті проведення досліджень було запроєктовано лабораторний стенд для знезалізнення природної води за методом спрощеної аерації. Побудовано калібрувальний графік та встановлено графік залежності залишкової концентрації заліза у досліджуваній воді від тривалості аерування під час знезалізнення її методом спрощеної аерації з фільтруванням. Розрахункові залежності (2) і (3) показують, що залишкова концентрація є меншою, ніж 0,3 мг/л, як і вимагають чинні норми [1].

1. ДСанПін 383-96. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання. МОЗ України, № 383 від 23.12.1996 р. 2. Кулаков В.В., Сошников Е.В., Чайковский Г.П. Обезжелезивание и деманганация подземных вод: Учебное пособие – Хабаровск: ДВГУПС, 1998. – 100 с. 3. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. – М., Стройиздат, 1975. – 176 с. 4. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод: Учеб. Для вузов. – М.: Высш.шк., 1987. – 479 с. 5. Кульський Л.А. и др. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. – К.: Наук. думка, 1980. – 628 с. 6. Знезалізнення підземних вод для питних цілей / О.В. Орлов, О.М. Квартенко, С.Ю. Мартинов, Ю.І. Гордієнко. – Рівне : УДУВГП, 2003. – 155 с.