

УДК 628.16

**Мартинів С. Ю., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ПРИ ЗНЕЗАЛІЗНЕННІ ВОДИ НА НАПІРНОМУ ФІЛЬТРІ**

**Розглянуто спосіб знезалізнення води на напірному фільтрі з аерацією на рециклі. Запропоновано формулу для визначення коефіцієнта рециркуляції.**

**Ключові слова:** підземні води, знезалізнення, аерація, фільтр, рециркуляція.

Значна частина підземних вод України має підвищену ГДК по залізу, і їх потрібно знезалізнювати [1, 2].

Для знезалізнення води в котеджах використовуються фільтри з різним зернистим завантаженням – адгезійним, сорбційним, іонообмінним [1]. Звичайно найпростіша експлуатація фільтрів з адгезійним завантаження, яка полягає в періодичному промиванні завантаження. Проте, використання таких фільтрів вимагає одноразової попередньої зарядки завантаження та введення перед фільтруванням кисню в воду (аерації).

**Можуть використовуватися** безнапірні та напірні фільтри. При використанні безнапірних фільтрів достатньо просто здійснити аерацію води. Проте, додатково потрібно влаштувати бак очищеної води та підвищувальний насос, що значно здорожує вартість котеджної системи водопостачання.

При використанні напірних схем знезалізнення ускладнюється влаштування аерації води. В таких схемах повітря у воду може вводитися з використанням компресора або ежектора. Стабільна робота ежекційного аератора можлива при розрахунковій витраті та значному перепаду тиску води, що робить неможливим його використання в системах знезалізнення, які працюють залежно від роботи (відкриття) санітарно-технічних приладів, тобто при змінній витраті.

**Аерацію води** можна здійснювати шляхом насичення частини води киснем повітря з подальшим її перемішуванням з основною масою води. Таке перемішування можна здійснювати в свердловині [3].

Для цього частина підземної води насичується повітрям через ежекційний аератор 7 та відводиться в свердловину 1 (рисунком 1) [3].

Аерована вода по трубопроводу 4 надходить в гідроакumuлюючий бак 9 і при досягненні максимального тиску відключається насос 2. При відкритті споживачами санітарно-технічних приладів, вода під тиском поступає на напірний фільтр 13, що являє собою герметичну місткість у верхній частині якої встановлено сітку, яка запобігає винесенню завантаження за його межі. Для зменшення загальної висоти напірного фільтра доцільно використовувати дрібніше завантаження, оскільки його необхідна висота буде меншою. В завантаженні затримуються сполуки заліза, а знезалізнена вода трубопроводом 15 надходить до відкритих санітарно-технічних приладів. Для запобігання зворотного руху води при відключеному насосі передбачено зворотній клапан 5.

Отже, фільтрування води відбувається в режимі, який залежить від роботи санітарно-технічних приладів, а насичення води киснем повітря відбувається при роботі насоса і не залежить від роботи санітарно-технічних приладів. Промивання пінополістирольного завантаження виконується підземною (неочищеною) водою низхідним потоком. Брудна промивна вода по трубопроводу 16 скидається в каналізацію.

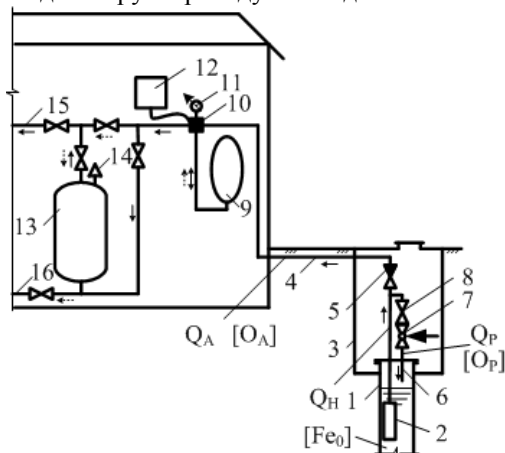


Рис. 1. Схема котеджної установки контактного знезалізнення води з напірним фільтром

1 – свердловина; 2 – занурений насос; 3 – оголовок; 4 – трубопровід аерованої води; 5 – зворотній клапан; 6 – рециркуляційний трубопровід; 7 – ежекційний аератор; 8 – вентиль; 9 – гідроакumuлятор; 10 – реле тиску; 11 – манометр; 12 – автоматика; 13 – напірний фільтр; 14 – вантуз; 15 – трубопровід знезалізненої води; 16 – промивний трубопровід

Для забезпечення потрібної кількості кисню у воді, що знезалізняється, та для зменшення витрат електроенергії, пов'язаних з транспор-

тування рециркуляційної води, потрібно правильно приймати коефіцієнт рециркуляції, який теоретично можна розрахувати наступним чином (рис. 1). Під коефіцієнтом рециркуляції  $\alpha$  будемо розуміти співвідношення між витратою, що поступає на знезалізнення (напірний фільтр),  $Q_A$ , до витрати, яку подає занурений насос,  $Q_H$ .

Витрата кисню в рециркуляційній трубі, г/год.

$$Q_{P,O_2} = Q_P \cdot [O_P], \quad (1)$$

де  $Q_P$  – витрата води в рециркуляційній трубі, м<sup>3</sup>/год.;

$[O_P]$  – концентрація кисню в рециркуляційній трубі (після ежектора), г/м<sup>3</sup>.

Необхідна концентрація кисню в аерованій воді, г/м<sup>3</sup>

$$[O_A] = [Fe_0] \cdot m, \quad (2)$$

де  $[Fe_0]$  – концентрація заліза (двовалентного) в підземній воді, г/м<sup>3</sup>;

$m$  – кількість кисню на окислення 1 мг заліза (двовалентного), г/г.

За стехіометричними розрахунками  $m=0,147$  мгО<sub>2</sub>/мг[Fe<sup>2+</sup>]. Звичайно цю величину беруть з запасом з врахуванням активної частини та витрати кисню на окислення інших речовин [1, 2].

Витрата кисню в аерованій трубі, г/год.

$$Q_{A,O_2} = Q_A \cdot [O_A], \quad (3)$$

де  $Q_A$  – подача води в гідроаккумулятор (аерована вода), м<sup>3</sup>/год.;

$[O_A]$  – концентрація кисню в аерованій суміші, г/м<sup>3</sup>.

Витрата води в рециркуляційній трубі, м<sup>3</sup>/год.

$$Q_P = (1-\alpha) \cdot Q_H, \quad (4)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт рециркуляції;

$Q_H$  – витрата (продуктивність) зануреного насосу, м<sup>3</sup>/год.

Витрата води в аерованій трубі, м<sup>3</sup>/год.

$$Q_A = \alpha \cdot Q_H. \quad (5)$$

Прийнявши відсутність поглинання кисню у рециркуляційній воді можна записати

$$Q_P \cdot [O_P] = Q_A \cdot [Fe_0] \cdot m \quad (6)$$

або

$$(1-\alpha) \cdot Q_H \cdot [O_P] = \alpha \cdot Q_H \cdot [Fe_0] \cdot m. \quad (7)$$

Звідки

$$\alpha = [O_P] / ([Fe_0] \cdot m + [O_P]). \quad (8)$$

За останньою формулою побудовані графіки для визначення коефіцієнта рециркуляції залежно від концентрації заліза в підземній воді  $[Fe_0]$  та концентрації кисню в рециркуляційній трубі  $[O_P]$  при  $m=1$  мгО<sub>2</sub>/мг[Fe<sup>2+</sup>] (рис. 2).

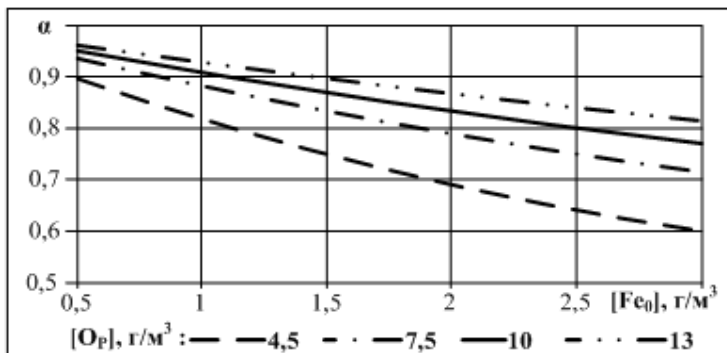


Рис. 2. Залежність коефіцієнта рециркуляції води  $\alpha$  від концентрації заліза в підземній воді  $[Fe_0]$  та концентрації кисню в рециркуляційній трубі  $[O_p]$

Отже, коефіцієнт рециркуляції залежить від концентрації закислого заліза у підземній воді та інших речовин, здатних поглинати розчинений кисень, та кількості кисню на окислення одиниці цих речовин, концентрації кисню в рециркуляційній воді. Для зменшення коефіцієнту рециркуляції потрібно використовувати аераційні пристрої з максимальним насиченням киснем повітря води. Для цього доцільно використовувати аератори ежекційного типу, які можуть забезпечувати насичення киснем води до концентрацій близьких до рівноважного.

В даних розрахунках прийняті наступні основні спрощення:

1. Концентрація кисню у воді після ежектора не залежить від концентрації кисню у воді перед ежекцією.
2. Не враховано залежність максимального насичення киснем повітря води від температури та тиску.
3. Кисень, що поданий з рециркуляційною водою зразу насичує воду, яка подається зануреним насосом. Для цього потрібно, щоб нижній кінець рециркуляційної труби розміщувався якомога ближче до насоса.

4. Витрата ежектора, отже, і концентрація кисню в рециркуляційній трубі, вибраної конструкції не залежить від перепаду тиску (витрати через нього). Звичайно це можна уточнити за номограмами ежекції повітря для промислових ежекторів або за експериментальними даними. При збільшенні тиску в трубопроводі подавання води в гідроаккумулятор (рис. 1, роз. 6) витрата води в рециркуляційному трубопроводі зростатиме, і, отже, зростатиме коефіцієнт рециркуляції. При зміні тиску 1,5...2,0 ат, при якому працюють котеджні системи водопостачання, ці величини змінюються у вузькому діапазоні. Тому, можливо при-

йняти середнє значення.

Для прикладу, приймемо  $Q_H=3 \text{ м}^3/\text{год.}$ ,  $[\text{Fe}_0]=1 \text{ г/м}^3$ ,  $[\text{O}_P]=10 \text{ г/м}^3$ ,  $m=1 \text{ мгO}_2/\text{мг}[\text{Fe}^{2+}]$ . Тоді коефіцієнт рециркуляції  $\alpha=10/(1\cdot1+10)=0,91$ , витрата води на знезалізнення  $Q_A=0,91\cdot3=2,73 \text{ м}^3/\text{год.}$ , витрата води в рециркуляційній трубі  $Q_P=(1-0,91)\cdot3=0,27 \text{ м}^3/\text{год.}$

Якщо відома залежність  $[\text{O}_P]=f_1(Q_P)$ , тоді можна визначити залежність

$$Q_{P\_O_2}=f(Q_P)=(1-\alpha)\cdot f(Q_H). \quad (9)$$

З формул (2, 3, 5) можна отримати

$$Q_{A\_O_2}=\alpha\cdot Q_H\cdot[\text{Fe}_0]\cdot m. \quad (10)$$

Прирівнявши формулу (9) та формулу (10) після нескладних перетворень, отримаємо коефіцієнт рециркуляції

$$\alpha=f(Q_H)/(Q_H\cdot[\text{Fe}_0]\cdot m+ f(Q_H)). \quad (11)$$

**Отже**, запропоновано формули та графік визначення потрібного коефіцієнта рециркуляції при знезалізненні води на напірному фільтрі. Коефіцієнт рециркуляції суттєво залежить від концентрації кисню у рециркуляційній трубі. Тому, доцільно застосовувати високоефективні аератори ежекційного типу.

**1.** Орлов В. Контактное обезжелезивание вод на пенополистирольных фильтрах. Монография / В. Орлов, С. Мартынов. – Saarbrucken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 126 с. **2.** Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах. Монографія / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов ін.; за ред. В. О. Орлова. – Рівне : НУВГП, 2012. – 172 с. **3.** Пат. на корисну модель 91986 Україна, МПК В 01 D 24/00, С 02 F 1/64. Напірна установка для знезалізнення підземних вод / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, К. С. Корнійчук : заявник та патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u 2014 01556 ; заявл. 17.02.14 ; опубл. 25.07.14. Бюл. № 14. **4.** Мартинов С. Ю. Знезалізнення води на напірних пінополістирольних фільтрах / С. Ю. Мартинов, М. М. Меддур, К. С. Мамчур // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Вода. Екологія. Суспільство». – Х. : Харківський національний університет міського господарства, 2014. – С. 17–19.

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

---

**Martynov S. Y., Candidate of Engineering, Associate Professor**  
(National University of Water Management and Nature Resources Use,  
Rivne)

## **DETERMINATION OF THE COEFFICIENT RECIRCULATION**

## **WITH IRON REMOVAL ON PRESSURE FILTER**

**A method of iron removal water on pressure filter with aeration on recycled is considered. The formula for determining the rate of recycling is proposed.**

**Keywords:** groundwater, iron removal, aeration, filter, recycling.

---

**Мартынов С. Ю., к.т.н., доцент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РЕЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИИ ВОДЫ НА НАПОРНОМ ФИЛЬТРЕ**

**Рассмотрен способ обезжелезивания воды на напорном фильтре с аэрацией на рецикле. Предложена формула для определения коэффициента рециркуляции.**

**Ключевые слова:** подземные воды, обезжелезивание, аэрация, фильтр, рециркуляция.

---