

УДК 628.16

## АЕРАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ

В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов

Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП),  
м. Рівне  
e-mail: [Orlov\\_Valeriy@list.ru](mailto:Orlov_Valeriy@list.ru)

*В статті розглянуті питання впливу заліза на організм людини, форми його існування у воді, методи видалення. Відзначено особливості об'ємного та контактного знезалізнення підземних вод. Наведені експериментальні дані ефективності роботи аераційних пристроїв.*

*Ключові слова: залізо, знезалізнення, аерація, окислення, фільтрування.*

**Вступ**

Україна відноситься до країн з невеликими природними запасами вод. Так, на кожного жителя України приходиться близько 1000 м<sup>3</sup> річкового стоку, при тому що Європейська економічна комісія ООН визначає мінімальну витрату води на одного жителя водозабезпеченої країни в розмірі 1700 м<sup>3</sup>. Вода має виражену соціальну значущість, оскільки наявність достатньої кількості води належної якості є одним з основних чинників безпечних умов життя та сталого розвитку держави.

За оцінкою науковців до 20-30% населення країни споживає підземну воду. Затверджені експлуатаційні запаси підземних вод по Україні дорівнюють 15,6 млн. м<sup>3</sup>/добу і найбільші запаси цих вод мають Чернігівська, Київська, Полтавська, Харківська області. Воду підземних джерел споживає практично все населення сільських населених пунктів північних, західних, північно-східних та деяких інших регіонів України [1]. При цьому, лише незначна частина підземних вод відповідає діючим нормам на питну воду. Як правило, переважна більшість захищених підземних джерел має підвищену концентрацію заліза, рідше – сірководню, амонію, марганцю, солей жорсткості, мінералізацію тощо.

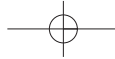
Наявність заліза в підземних водах пов'язана із широким поширенням цього елемента в природі. Залізо становить 4,56 % маси всієї земної кори, займаючи четверте місце серед 107 елементів. Вміст заліза пов'язаний з регіональними, кліматичними, ландшафтними й гідрологічними особливостями зони проживання [2]. Саме тому в переважаючій більшості водоносних горизонтів прісних вод спостерігається підвищена концентрація заліза, незалежно від приналежності до того або іншого артезіанського басейну. Здебільшого вміст заліза у підземній воді становить до 5 мг/дм<sup>3</sup> (с. Бохоники, Вінницької обл. – 1,2...3,0 мг/дм<sup>3</sup>; м. Смела, Черкаської обл. – 2,0...3,0 мг/дм<sup>3</sup>; м. Берегово, Закарпатської обл. – 2,0...7,5 мг/дм<sup>3</sup>; м. Березань, м. Баришівка, Київської обл. – 1,2...3,0 мг/дм<sup>3</sup>; м. Ковель, с. Рожище, Волинської обл. – 0,87...1,75 мг/дм<sup>3</sup>; Славінський водозабір Донецької обл. – 3,75...4,33 мг/дм<sup>3</sup>; Зановський водозабір Луганської обл. – 2,3...4,54 мг/дм<sup>3</sup>; смт. Гоща, Рівненської обл. – 1,66...3,55 мг/дм<sup>3</sup>; с. Олександрія, Рівненської обл. – 0,48...0,97 мг/дм<sup>3</sup>; с. Франівка, Рівненської обл. – 2,62...4,08 мг/дм<sup>3</sup>; с. Плужне, Хмельницької обл. – 1,64...3,7 мг/дм<sup>3</sup>), хоча може становити і більше 20 мг/дм<sup>3</sup>.

Згідно діючих нормативів на водопровідну питну воду [3], залізо відноситься до санітарно-хімічних показників безпечності і якості води та його концентрація не повинна перевищувати 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, вимоги багатьох виробництв (харчові, енергетика тощо) значно жорсткіші [4].

**Вплив заліза на здоров'я людини**

Залізо є життєво необхідним елементом для нормального функціонування дорослої людини та повноцінного розвитку дитини [5]. Підраховано, що весь запас заліза розподіляється в організмі людини наступним чином: близько 60 % іде на кров і процеси





кровотворення, 7% допомагають роботі м'язів, близько 16% присутні в тканинах і ферментах, залишок у вигляді 20 % знаходиться в печінці, нирках і кістковому мозку.

У здорової людини залізо повільно виводиться з організму: дорослий чоловік втрачає за добу близько 1 мг заліза, а жінка значно більше, тому що переважна більшість заліза знаходиться у крові. Коли заліза починає не вистачати, організм приступає до використання його запасів, що зберігаються в печінці. Печінка відповідає на це різким збільшенням виробництва «провідників» заліза - апоферритину й трансферрину. Всмоктування заліза через слизисту оболонку кишечника відразу збільшується в 1,5-4 рази. Якщо з їжею надходить занадто мало заліза або занадто великі його втрати, то виникає захворювання (залізодefіцитна анемія, або недокрів'я). Хронічні запалення кишечника, особливо 12-палої кишки, перешкоджають ефективному всмоктуванню заліза. Погано засвоюється воно й при низькій кислотності шлункового соку. Ознаки захворювання: зеленувато-блідий колір особи, слабкість, запаморочення, непритомність, поганий апетит. Для роботи мозку потрібна величезна кількість кисню, а при анемії мозок не одержує його в потрібній кількості. Частіше анемія розвивається в підлітковому віці, коли відбувається період статевого дозрівання. Дефіцитом заліза страждають понад 2 мільярди людей на землі.

Якщо ж у плазму крові раптово надходить велика кількість заліза, то таке надлишкове залізо також відкладається в тканинах. У цьому випадку, утворюються з'єднання тривалентного заліза з білками, але вже у вигляді нерозчинного у воді комплексу - гемосидерину. Це з'єднання вже не може бути використане організмом у майбутньому. Його нагромадження порушує функції тих тканин і органів, де воно накопичується, і призводить до розвитку захворювання - гемосидерозу. Хвороба досить рідка й виникає при масовому руйнуванні еритроцитів. Якщо загальний вміст заліза в організмі перевищує 15 г, то вражаються внутрішні органи. Такий стан називається гемохроматозом.

Надлишок заліза у воді впливає на розвиток багатьох захворювань. Цей елемент здатний накопичуватися до токсичної концентрації в органах і тканинах, включаючи суглоби, печінку, ендокринні залози й серце. Залізо може створювати живильне середовище для росту шкідливих мікроорганізмів і клітин злоякісних пухлин, а також додатково стимулювати канцерогенну дію вільних радикалів. Високі концентрації заліза виявляються в мозку людей, що страждають хворобою Паркінсона. Надлишок заліза порушує функцію центральної нервової системи, збільшуючи психічні розлади.

Занадто велика кількість заліза в організмі літніх чоловіків і жінок сприяє нагромадженню вільних радикалів, може прискорити розвиток загального старіння. Залізо стимулює окиснення холестерину, що обумовлює прогресування атеросклерозу, і вторинно - ішемічної хвороби серця. Гемохроматоз звичайно розвивається в середньому й старшому віці. При цьому захворюванні виникає бронзове забарвлення шкіри, розвивається цироз печінки, цукровий діабет, вражається серце. Останнє проявляється кардіомегалією, серцевою недостатністю, аритмією, порушенням провідності. Часто відзначаються гормональні порушення.

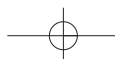
Явища отруєння залізом виражаються блювотою, діареєю (іноді із кров'ю), паралічем центральної нервової системи і запаленням нирок.

При лікуванні залізом можуть розвинути запори, тому що залізо зв'язує сірководень, що послаблює моторику кишечника. Надлишок заліза в організмі може привести до дефіциту міді, цинку, хрому й кальцію, а також до надлишку кобальту.

Нерозуміння важливості проблеми передозування заліза й пов'язаної з нею необхідності знезалізнення води може призводити як до погіршення самопочуття людини, так і до розвитку вищеперахованих захворювань, зниження продуктивності праці та загальної тривалості життя людини.

### **Форми заліза у воді**

Склад підземних вод суттєво залежить від характеру взаємодії надр із земною поверхнею. У зонах вільного водообміну з поверхнею під дією вуглекислоти, яка



знаходиться в розчинах, важкорозчинні сполуки переходять у добре розчинні й утворюють бікарбонати, у тому числі бікарбонати заліза. У підземних водах у відновному середовищі глибоких горизонтів залізо, як правило, знаходиться у вигляді іонів двовалентного заліза, які стійкі у водних розчинах при наявності вільної вуглекислоти і при відсутності окислювачів [1, 2]. Такі підземні води прозорі та безбарвні, але після контакту з повітрям проходить окислення заліза, вода стає каламутною і починає набувати кольору від світло-жовтуватого ( $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ) до буро-червоного ( $50 \text{ мг/дм}^3$ ). При концентрації заліза більше  $1 \text{ мг/дм}^3$  вода набуває залізного присмаку. Гідроксид заліза (III) може бути присутнім у воді в колоїдному стані, який є однією з основних форм існування заліза в поверхневих водах. Стійкість колоїдного заліза в значній мірі підвищується завдяки захисній дії гумусових речовин. При наявності у воді органічних речовин (таніни, гуміни тощо), розрізняють так зване органічне залізо. Ці сполуки, як правило, розчинні або мають колоїдну структуру й дуже важко піддаються видаленню. Деякі бактерії (залізобактерії *Leptothrix*, *Gollionella*, *Srenothrix*, *Chlaraydothrix* та інші) використовують залізо в метаболічних процесах - бактеріальне залізо. Такі бактерії живуть колоніями на поверхні трубопроводів і обладнання, для життєдіяльності використовують бікарбонат двовалентного заліза, а на поверхню відкладають гідрат окису заліза.

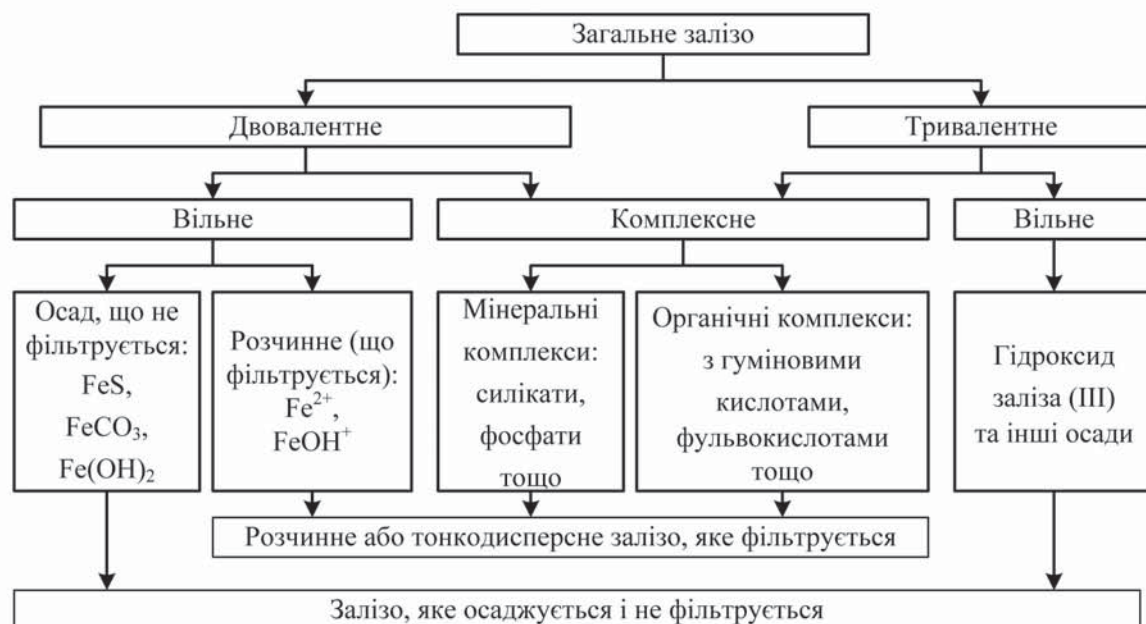


Рис. 1. Можливі форми заліза у воді [6].

Таблиця 1. Основні відмітні ознаки різних форм заліза у воді

Форма заліза у воді	Вода до відстоювання	Вода після відстоювання
Двовалентне	Прозора	Червоно-бурий осад
Тривалентне	Забарвлена	Червоно-бурий осад
Колоїдне	Жовто-бура	Осад не утворюється, не фільтрується
Розчинне органічне	Жовто-бура	-/-
Бактеріальне	Опалесцентна плівка, залізоподібні утворення у водопровідних трубах	-/-



Правильне визначення форми вмісту заліза у воді є дуже важливим завданням, вирішення якого дозволяє вибрати ефективний метод знезалізнення води. Крім того, на вибір методу знезалізнення води впливають концентрація заліза, вимоги споживачів щодо концентрації заліза, показники якості води, продуктивність очисних споруд та їх місце в загальній схемі водопостачання тощо.

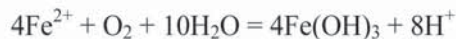
#### Методи знезалізнення води

Для знезалізнення води можуть використовуватися безреагентні, реагентні, катіонообмінні, мембранні та біохімічні методи [1, 2, 4]. Метод знезалізнення води необхідно вибирати пробним знезалізненням води безпосередньо біля джерела водопостачання [7, 8].

Метод катіонного обміну застосовують одночасно зі зм'якшенням води. Він полягає в обміні катіонів заліза, кальцію та магнію на катіони натрію та водню завдяки спеціальним засипкам фільтра. Біохімічний метод передбачає заселення на відповідному носії спеціальних залізобактерій з наступним фільтруванням на фільтрах. Для біологічного очищення можуть застосовуватися біореактори з капроновими текстурованими джгутовими нитками, сухі фільтри, споруди двоступеневої фільтрації. Проте, досить важко визначити межу між суто хімічним та біологічним окисленням [6]. Використання ультрафільтраційних мембран дозволяє видаляти двовалентне, колоїдне та бактеріальне залізо, але їх регенерація потребує не тільки промивної води, а й хімічних реагентів.

Безреагентні та реагентні методи називають ще фізико-хімічними методами, які передбачають введення окислювачів заліза. В першому методі цим окислювачем є кисень повітря, а в другому - у воду вводять розчини хімічних окиснювачів (хлор, озон, перманганат калію тощо). Завданням методів є переведення розчинних форм заліза в малорозчинні форми  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , чого досягають окисленням із наступним його осадженням або затриманням у товщі фільтруючої засипки.

При окисленні заліза киснем хімізм процесу має вигляд:



Проте, при наявності у воді гідрокарбонатів, що спостерігається найчастіше, цей процес описується рівнянням:



В результаті окислення 1 мг гідрокарбонату заліза утворюється 1,6 мг вільної вугільної кислоти, загальна лужність води знижується на  $0,043 \text{ ммоль/дм}^3$ , можливе зменшення рН, сповільнюється окислення й гідроліз заліза.

В перерахованих способах залізо переводиться в гідроксид заліза. При цьому, може виділятися велика кількість вуглекислого газу. Окислення заліза може проводитись шляхом глибокої та спрощеної аерації. При глибокій аерації процес окислення заліза починається у аераційних пристроях із значним подрібненням потоку води або повітря для створення найбільшого контакту з повітрям (наприклад, у градирнях) і закінчується в проміжних місткостях, резервуарах, відстійниках, де утворюються пластівці гідроксиду заліза. В цьому випадку, необхідно говорити про **об'ємне знезалізнення води**, тобто окислення закисних форм заліза та наступну його коагуляцію в об'ємі води. На фільтрах відбувається затримка сформованих пластівців гідроксиду заліза за тими ж законами, що і на швидких фільтрах при проясненні води, але додається сорбція непрореагованих іонів двовалентного заліза і кисню. Утворені пластівці мають пухку, нестійку структуру і затримуються у верхніх 5...15 см шару засипки, в окремих випадках, може утворюватись навіть плівка на поверхні засипки. В процесі фільтрування спостерігається високий темп зростання втрат напору. Гранулометричний склад засипки приймається таким самим, як і в швидких фільтрах при проясненні води (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристики піщаних фільтруючих шарів при об'ємному знезалізованні води [7, 8]

Діаметр зерен, мм			Коефіцієнт неоднорідності	Висота шару, м	Розрахункова швидкість фільтрування, м/год.
най- мен- ший	най- біль- ший	еквівалент- ний			
0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2,0	0,7-0,8	5-6
0,7	1,6	0,8-1,0	1,6-1,8	1,3-1,5	6-8

Спрощена аерація проходить у простіших пристроях, ніж в попередньому випадку. Вода, зразу після аерації, потрапляє в шар зернистої засипки. На зернах засипки з'являється плівка, що має значно більші сорбційні властивості, ніж зерна чистої засипки. При надходженні води в засипку після аерації, процес знезалізовання проходить безпосередньо в ній одночасно з окисленням. В даному випадку точніше говорити про **контактне знезалізовання води**. Зерна засипки можуть мати більший розмір, ніж при глибокій аерації (табл. 3). У початковий момент засипка спочатку заряджається і далі виступає як каталізатор. Тому, в початковий момент ефект очищення може бути недостатнім.

Таблиця 3. Характеристики піщаних фільтруючих шарів при контактному знезалізованні води [7, 8]

Діаметр зерен, мм			Коефіцієнт неоднорідності	Висота шару, м	Розрахункова швидкість фільтрування, м/год.
най- мен- ший	най- біль- ший	еквівалент- ний			
0,8	1,8	0,9-1,0	1,5-2,0	1,0	5-7
1,0	2,0	1,2-1,3	1,5-2,0	1,2	7-10

В якості зернистої засипки фільтрів, крім кварцового піску, використовуються й інші природні та штучні матеріали. Тип фільтруючої засипки, параметри її зерен та висота шару суттєво впливають на ефективність знезалізовання води, розміри фільтрувальних установок та їх продуктивність. Однією з економічно доцільних засипок є пінополістирол, використання якого дозволяє економити капітальні та експлуатаційні затрати при будівництві та реконструкції систем водопостачання при знезалізованні води для сільських населених пунктів [1]. Пінополістирольна засипка може виготовлятися у виробничих умовах (підприємства виробництва пінополістирольних плит) та безпосередньо на місці використання. Як правило, в першому випадку полістирол спінується паром, а в другому – водою. Розміри засипки у першому випадку більші, а густина та їх вартість менша. Для забезпечення необхідної ефективності знезалізовання води та здешевлення засипки, нами запропонована і впроваджена комбінована засипка, яка складається з 20% дрібних гранул пінополістиролу, спіненних водою та 80% крупних гранул, спіненних парою. Параметри комбінованої засипки наведені в табл. 4. В якості засипки можна використовувати гранітний щебінь крупністю 3-5 мм при гіршій ефективності роботи.

Таблиця 4. Характеристики комбінованої пінополістирольної засипки при контактному знезалізованні води

Пінополістирольна засипка	$d_{\text{ЕКВ}}$ , мм	$d_{10}$ , мм	$d_{80}$ , мм	$K = \frac{d_{80}}{d_{10}}$	$d_{20}$ , мм	$R = \frac{d_{20}}{d_{\text{ЕКВ}}}$
Спінена водою	0,56	0,25	1,48	5,92	0,33	0,58
Спінена парою	2,22	1,25	3,27	2,61	1,62	0,73
Комбінована	1,38	0,67	2,77	4,13	0,89	0,56



Згідно діючих нормативів, спрощену аерацію необхідно використовувати, якщо вміст заліза становить до  $10 \text{ мг/дм}^3$ , у тому числі, двовалентного - не менше, як 70%, рН - не менше, ніж 6,8, вмісті сірководню - не більше  $2 \text{ мг/дм}^3$ , лужності - понад  $L = (1 + \text{Fe}^{2+}/28) \text{ ммоль/дм}^3$ . При неможливості застосування спрощеної аерації вдаються, в першу чергу, до інтенсифікації аерації-дегазації підземної води на спеціальних пристроях.

### Аераційні пристрої

Аераційні пристрої в безреагентних технологічних схемах знезалізнення води призначені для насичення води киснем повітря з метою окислення заліза та сірководню, видалення двоокису вуглецю. Вибір оптимального аераційного пристрою є достатньо складною техніко-економічною задачею, оскільки вимагає врахування значної кількості параметрів: концентрацій закисного й окисного заліза, водневого показника, окисно-відновного потенціалу, лужності, концентрації розчинених газів (вільної вуглекислоти, сірководню), водоповітряного співвідношення, ступеня диспергування води, питомих енергозатрат, способу подальшого очищення води тощо [1]. Крім того, ці пристрої повинні бути максимально простими й зручними в експлуатації та порівняно недорогими.

Згідно стехіометричних розрахунків, на окислення 1 мг закисного заліза потрібно 0,143 мг кисню, проте, згідно [1] питомі витрати кисню на 1 мг заліза, при його концентрації до  $5 \text{ мг/дм}^3$ , дорівнюють (0,8-1) : 1, а для окислення сірководню - ще додатково (2,25-2,5) мг на 1 мг сірководню.

При розприскуванні води з висоти 0,5 м, при вмісті заліза  $5 \text{ мг/дм}^3$  та сірководню  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ , потрібно кисню  $5 \times 1 + 0,5 \times 2,5 = 6,25 \text{ мг/дм}^3$  і, згідно рис. 2, у воді не буде вистачати кисню і процес знезалізнення спрощеною аерацією буде незавершений.

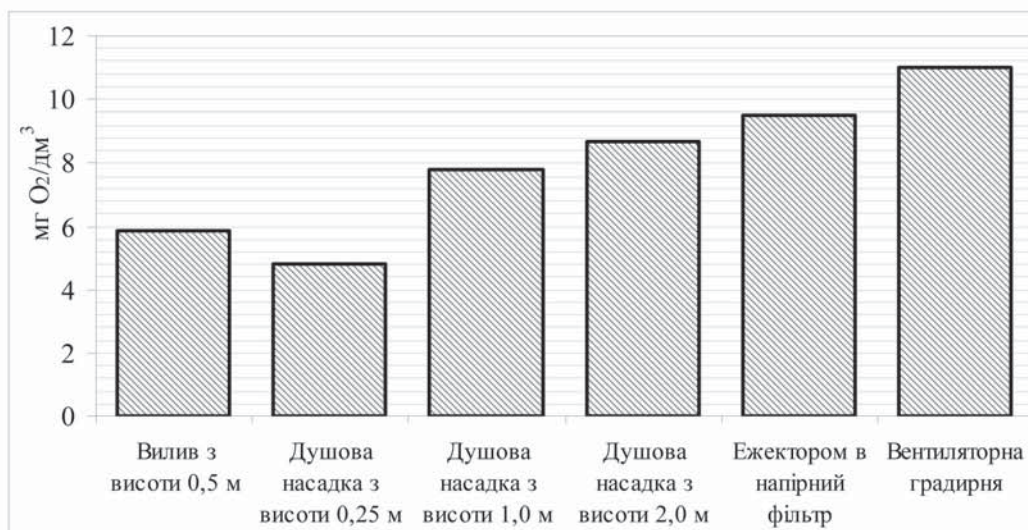


Рис. 2. Ефективність аерації води різними пристроями [1, 2, 6, 9, 10, 11].

При використанні напірних фільтрів потрібна кількість повітря для окислення заліза в  $1 \text{ м}^3$  води визначається за формулою:

$$Q_{\text{пов}} = 3,45 \times C_0, \quad (1)$$

де  $C_0$  – вміст двовалентного заліза,  $\text{мг/дм}^3$ ;  $Q_{\text{пов}}$  – потрібна кількість повітря,  $\text{дм}^3/\text{м}^3$ .

При застосуванні спрощеної аерації в схемі з напірними фільтрами насичення води киснем повітря відбувається в напірному змішувачі.

У відкритих фільтрах аератором є воронка на трубопроводі подачі води у фільтр, яка піднята над поверхнею води в боковому каналі або у спеціальній приймальній місткості. Проте, видалення двоокису вуглецю відбувається, в цьому випадку, у незначній мірі і рН

води практично не збільшується. Поліпшення аерації досягається дробленням потоку і зменшенням діаметру струменів води, що аерується. Для цього, вода виливається струменями з підведених над фільтром напірних трубопроводів або лотків. Аератори цього типу піднімають над рівнем води у фільтрі на висоту від 1 м до 50 см. Такі аератори здатні видалити з води, що поступає на споруду, до 20- 30 % вільного двоокису вуглецю.

Як видно з рис. 2, для аерації і видалення з води вільної вуглекислоти перспективними можуть виявитися аератори ежекційного типу (водоповітряні ежектори). Аератори такого типу (рис. 3) [12] складаються з підвідного трубопроводу (1), який з'єднується з дифузorzом (2), на кінці якого розміщене сопло (3), приймальної камери (4) з повітряним патрубком (5), камери змішування (6). Ефективність роботи таких пристроїв залежить від наступних параметрів: тиску води до і після аератора, конструкції сопла (форма, діаметр, довжина, швидкість руху води, одно чи багатоструменеве сопло) та його розміщення, конструкції камери змішування та їх кількості, співвідношення площ поперечних перерізів камери змішування та сопла ( $f_{кз}/f_c$ ), тиску повітря перед приймальною камерою тощо.

Для дослідження ефективності роботи аератора ежекційного типу нами був виготовлений сталевий розбірний аератор та експериментальна установка. Конструкція аератора дозволяла легко змінювати його основні конструктивні параметри.

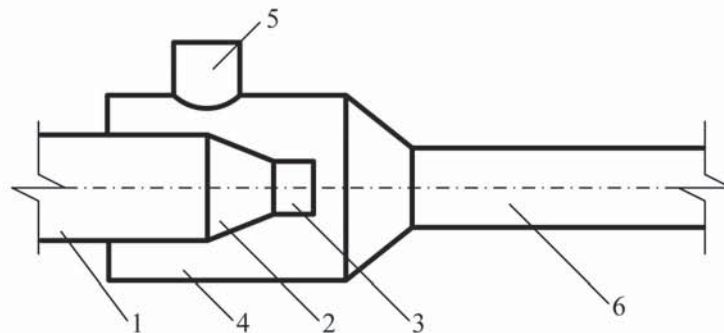


Рис. 3. Принципова схема аератора ежекційного типу.

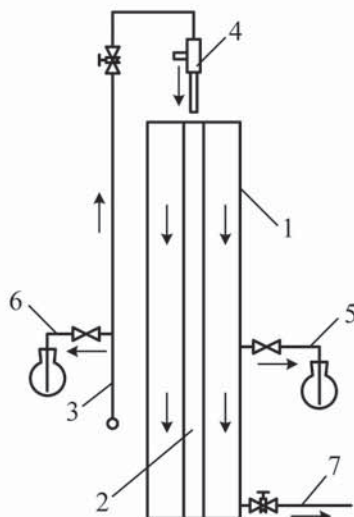


Рис. 4. Схема експериментальної установки.

Експериментальна установка (рис. 4) складалася з поліетиленової труби внутрішнім діаметром 140 мм та довжиною 2,5 м (1) з оглядовим вікном (2) та нижньою заглушкою, трубопроводу подачі води на аерацію (3) з регулювальним краном, на кінці якого розміщувався аератор (4), пробовідбірників (5, 6) із зажимами та трубопроводом відведення аерованої води (7) з регулювальним краном.

За допомогою регулювального крану на трубопроводі (3) налаштовувалася необхідна витрата через аератор, а за допомогою регулювального крану на трубопроводі (7) забезпечувався необхідний рівень води в трубі (1). Після стабілізації режиму роботи експериментальної установки відбиралися проби води з пробовідбірника (5) для визначення концентрації кисню й водневого показника в аерованій воді та з пробовідбірника (6) – у вихідній воді.



Ефективність насичення киснем води визначалася за формулою:

$$E = C/C_p, \tag{2}$$

де  $C$  - концентрація кисню, визначена експериментально,  $\text{мг/дм}^3$ ;  $C_p$  - приведена рівноважна концентрація насичення киснем води,  $\text{мг/дм}^3$ , яка визначається за формулою:

$$C_p = C_H \cdot P/P_H, \tag{3}$$

де  $C_H$  - рівноважна концентрація кисню при нормальному атмосферному тиску ( $P_H=101,3 \text{ кПа}$ ),  $\text{мг/дм}^3$ ;  $P$  - атмосферний (барометричний) тиск,  $\text{кПа}$ .

При проведенні експериментальних досліджень у вихідній воді концентрація кисню коливалася в межах  $6,4 \dots 7,0 \text{ мг/дм}^3$ , водневий показник –  $7,1 \dots 7,2$ .

Перша серія досліджень проводилася з метою з'ясування ефективності роботи аератора при різних співвідношеннях  $f_{кз}/f_c$  та постійній витраті. При цьому, кінець камери змішування розміщувався під рівнем води в трубі (1). Результати лабораторних досліджень наведені на рис. 5.

Отже, при зміні співвідношення  $f_{кз}/f_c$ , в діапазоні проведених досліджень, спостерігається зниження ефективності насичення води киснем повітря при зменшенні співвідношення  $f_{кз}/f_c$ , що пояснюється зниженням вакууму в приймальній камері, і, отже, зменшення кількості повітря, яке інjektується. При цьому, значення водневого показника також знижувалося.

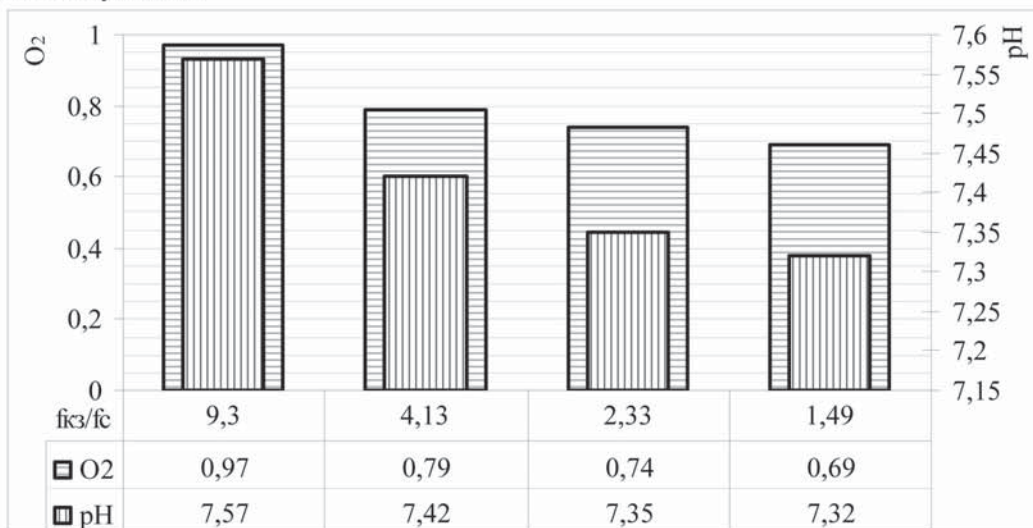


Рис. 5. Результати досліджень роботи аератора ежекційного типу при різних співвідношеннях  $f_{кз}/f_c$ .

Друга серія досліджень проводилася з метою з'ясування ефективності роботи аератора при співвідношенні  $f_{кз}/f_c = 2,33$ , постійній витраті з розміщенням аератора під рівнем вод та на різних висотах відносно рівня води. Результати лабораторних досліджень наведені на рис. 6.

З результатів досліджень, представлених на рис. 6, можна зробити висновок про те, що найнижча ступінь насичення киснем повітря води характерна при розміщенні аератора під рівнем води в трубі (1). При розміщенні аератора вище рівня води концентрація кисню в аерованій воді збільшується. Проте, менше значення спостерігається при розміщенні аератора на висоті 0,5 м. Це можна пояснити тим, що при розміщенні аератора на висоті 0,3 м, крім ежекції повітря, відбувається інтенсивна струменева аерація води в трубі (1). При висоті розміщення аератора більше 0,5 м швидкість води при вході в трубу (1) порівняно менша і ефект струменевої аерації знижується. Підвищення ефективності аерації води, при її



падінні з висоти 0,5 м та 1,0 м, в порівнянні з розміщенням аератора під рівнем води, відбувається за рахунок збільшеної поверхні контакту води з повітрям.

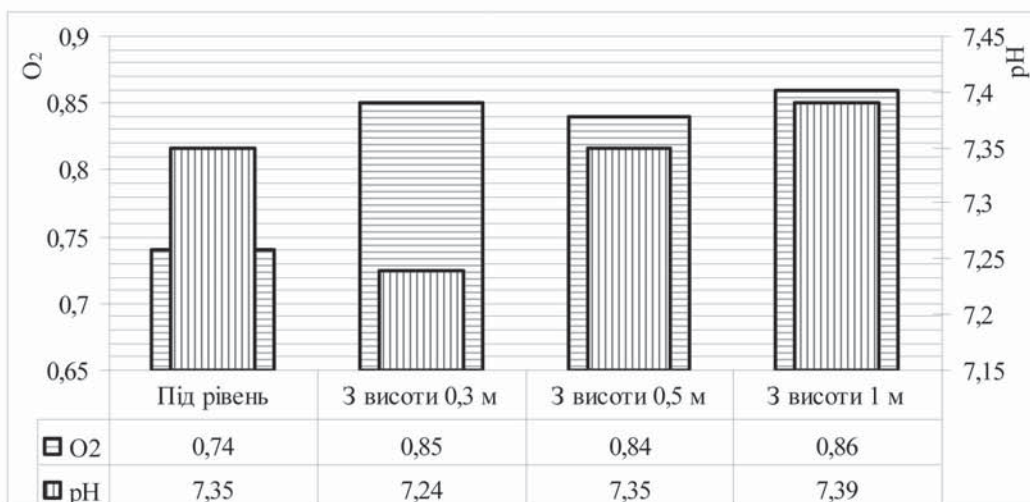


Рис. 6. Результати досліджень роботи аератора ежекційного типу при різних способах його розміщенні відносно рівня аерованої води при  $f_{кз}/f_c = 2,33$ .

Третя серія досліджень проводилася з метою вивчення ефективності аерації води з висоти 0,5 м при різних швидкостях вилування води в трубу (1) та постійній витраті води. Зміна швидкостей вилування води забезпечувалася зміною діаметра насадки на кінці трубопроводу подачі води на аерацію (3). Результати лабораторних досліджень наведені на рис. 7.

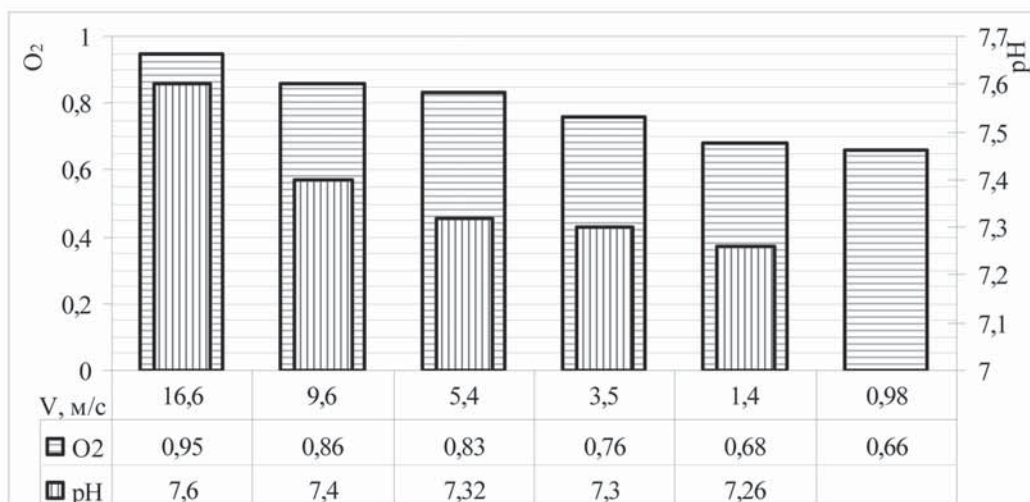


Рис. 7. Результати досліджень аерації води з висоти 0,5 м при різних швидкостях вилування води.

Отже, при збільшенні швидкості вилування води з труби спостерігається підвищення концентрації кисню та водневого показника в аерованій воді. Вцілому, використання такого способу аерації води дозволяє досягти високої ефективності в порівнянні з іншими методами.

Наведені експериментальні дані носять орієнтовний характер, оскільки ефективність аерації води, крім вищезазначених факторів, залежить від вмісту кисню у вихідній воді, речовин здатних поглинати кисень, тривалості контакту води з повітрям тощо.

### Висновки

Отже, залізо є необхідним елементом для нормального функціонування людини. Проте, підвищені дози заліза можуть призводити як до погіршення самопочуття людини, так і до розвитку ряду захворювань, зниження продуктивності праці та загальної тривалості її життя. Оскільки, більшість підземних горизонтів мають підвищений вміст заліза, то знезалізнення води є важливим народногосподарським завданням.

В нашій країні найбільшого поширення набули аераційні методи, оскільки вони, як правило, дешевші інших. При цьому, окислення заліза може здійснюватися шляхом глибокої та спрощеної аерації. В першому випадку, окислення заліза починається в аераційних пристроях і закінчується в проміжних місткостях – об'ємне знезалізнення води. В другому випадку, вода після насичення повітрям надходить в шар зернистої засипки, в якому відбувається як затримання, так і окислення заліза – контактне знезалізнення води.

Ефективність роботи аераційних пристроїв суттєво впливає на окислення заліза та створення найкращих умов для його вилучення. Аераційні пристрої повинні бути не тільки ефективними, але й порівняно недорогими, простими та зручними в експлуатації. В цьому сенсі доцільними можуть виявитися аератори ежекційного типу, які достатньо компактні, нескладні у виготовленні та експлуатації і забезпечують достатньо високу ефективність аерації води.

## АЭРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

**В. О. Орлов, С. Ю. Мартынов**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования (НУВХП), г. Ровно  
e-mail: Orlov\_Valeriy@list.ru

*В статье рассмотрены вопросы влияния железа на организм человека, формы его существования в воде, методы удаления. Отмечены особенности объемного и контактного обезжелезивания подземных вод. Приведены экспериментальные данные эффективности работы аэрационных устройств.*

*Ключевые слова: железо, обезжелезивание, аэрация, окисление, фильтрация.*

## AERATION METHODS OF DEFERRIZATION OF WATER

**V. Orlov, S. Martynov**

National university of water management and nature resources use, Rivne  
e-mail: Orlov\_Valeriy@list.ru

*The question of influence of iron on the organism of man, form of his existence, in water, methods of delete is considered in the article. The features of by volume and contact deferrization of underwaters are marked. Experimental information of efficiency of work of aeration devices is resulted.*

*Keywords: iron, deferrization, airing, oxidization, filtration.*

### Список літератури:

1. Орлов В. О. Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням / В. О. Орлов // Монографія. — Рівне: НУВГП, 2008. — 158 с.
2. Николадзе Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. — М. : Стройиздат, 1978. — 160с.
3. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : ДСанПіН 2.2.4-171-10. — [Чинний від 2010—05—12]. — К. : Ліга:Закон, 2010.



4. *Тугай А. М.* Водопостачання: Підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. — К. : Знання, 2009. — 735 с.
5. *Минделл Э.* Справочник по витаминам и минеральным веществам / Э. Минделл. — М.: Медицина и питание, 1997 — 213 с.
6. *Бараке К.* Технические записки по проблемам воды / [К. Бараке, Ж. Бебен, Ж. Бернар и др.] ; [пер. с англ. Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой]. — М.: Стройиздат, 1983. — С. 609 — 1064.
7. *СНиП 2.04.02-84\**. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. — М.: Стройиздат, 1985, — 135 с.
8. ВБН 46/33-2.5-5-96. Сільськогосподарське водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. норми проектування. — К., 1996. — 152 с.
9. *Золотова Е. Ф.* Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. — М.: Стройиздат, 1975. — 176с.
10. *Румянцев Л. П.* Брызгальные установки для обезжелезивания воды / Л. П. Румянцев. — М.: Стройиздат, 1976. — 180с.
11. *Станкявичус В. И.* Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок) / В. И. Станкявичус. — Вильнюс: Мокслас, 1978. — 120 с.
12. Патент на корисну модель № 50767 України, МПК C02F 3/24 C02F 3/00 E21B 43/27. Аератор-дегазатор / Орлов В. О., Мартинов С. Ю., Трохимчук М. М.; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства і природокористування. - u200912980 ; заявл. 14.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, бюл. № 12.