

ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДЛЯ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Тетяна Курбанова¹, Тетяна Хомутецька²

Київський національний університет будівництва і архітектури

31, проспект Повітряних Сил, Київ, 03037, Україна

¹kurbanova.tv@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0006-4265-2666

²докт. техн. наук, khomutetska.tp@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-0153-4920

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.48.33-42

Анотація. Щоб забезпечувати населення якісною питною водою більш доцільно орієнтуватись на використання підземних джерел водопостачання, які краще захищені від забруднень і у порівнянні з поверхневими водами. Однак значна частина підземних джерел водопостачання характеризується підвищеним вмістом заліза і вода з них перед подачею споживачам потребує знезалізнення. Видалення надмірного вмісту заліза з підземних вод можна здійснювати реагентними або безреагентними методами, використовуючи водознезалізнювальні установки різних конструктивних схем та вдаючись до заходів, що підвищують ефективність їх роботи. На основі аналізу існуючих технологій видалення заліза з підземних вод та сучасних тенденцій у галузі водоочищення запропоновано для локальних систем водопостачання використання фільтра з автоматичним клапаном керування й технологією, що передбачає безреагентне знезалізнення підземних вод внаслідок окиснення розчиненого заліза киснем повітряної подушки й подальшого затримання утвореного осаду у товщі багатокomпонентного фільтрувального завантаження. Дана технологія характеризується невисокою вартістю і стійкістю до зношуваності природних матеріалів фільтра, простотою його експлуатації, екологічністю, що виключає вторинне забруднення очищеної води реагентами, компактністю і автоматизацією процесів керування, що особливо актуально для невеликих населених пунктів.

Ключові слова: локальна система водопостачання, підземні води, знезалізнення, фільтрувальне завантаження, аерація, фільтрування, водоочисна установка.

ВСТУП

Враховуючи виклики сьогодення, пов'язані з необхідністю експлуатації систем питного водопостачання в умовах воєнних дій й суттєвого антропогенного навантаження на довкілля, актуальності набувають децентралізація водопроводів, передбачення в проектах резервних джерел їх живлення, використання локальних систем водозабезпечення споживачів. І для питних потреб підземні води, які краще захищені від потрапляння різного типу забруднень з поверхні землі, є найбільш прийнятним джерелом.

Дані щодо загальних прогнозних ресурсів підземних вод України, балансових

експлуатаційних запасів та обсягів використання підземних вод свідчать про великі потенційні можливості розширення їх використання практично в усіх регіонах, особливо для невеликих споживачів локальних водопроводів.

Разом з тим, хоча в цілому підземна вода характеризується кращими показниками якості у порівнянні з поверхневою, але і вона може потребувати очищення. Так, в підземних водах північно-західних, центральних та деяких східних областей України спостерігається підвищений вміст заліза, концентрація якого подекуди може досягати 20 мг/дм³ і навіть вище [1]. Враховуючи

посилені вимоги ДСанПіН до вмісту заліза у водопровідній воді у порівнянні з попередніми нормативами та використання підземних джерел переважно для систем локального водопостачання, то актуальним завданням на сьогоднішній день є удосконалення водоочисних технологій, конструювання й застосування на практиці таких знезалізнюючих установок, які б вирізнялися високою ефективністю, надійністю і зручністю в експлуатації.

На сьогоднішній день розроблено чимало технологій знезалізнення підземних вод з різними конструктивними рішеннями щодо їх реалізації на практиці [2-13]. Узагальнення набутого досвіду у поєднанні з сучасними тенденціями водоочистки дозволить оцінити перспективи й можливості подальшого удосконалення технологічних схем видалення заліза з підземних водних джерел.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз методів знезалізнення підземних вод, конструктивних схем та нових тенденцій у галузі водопідготовки, що відкриває шляхи подальшого удосконалення технології видалення заліза з води підземних джерел у умовах сучасних викликів.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

За відсутності розчиненого кисню, залізо в підземних водах найчастіше зустрічається в іонній формі та комплексних двовалентних сполуках. Підвищеним вмістом заліза (переважно з концентраціями до 5 мг/дм³) характеризується більшість підземних водонесних горизонтів України, [1]. Враховуючи, що у водопровідній воді вміст заліза не повинен перевищувати нормативний показник (0,2 мг/дм³), то при заборі підземних вод часто виникає потреба у їх знезалізненні. У практиці водопідготовки застосовують реагентні або безреагентні методи видалення заліза з підземних вод, що відрізняються механізмом протікання хімічних реакцій, здійснення фізичних, а іноді й біологічних процесів [2-4, 6-10].

За сприятливих умов знезалізнення води намагаються виконувати безреагентними методами, що спрощує технологію

водопідготовки, зменшує капітальні та експлуатаційні затрати водоочисних станцій при забезпеченні високої ефективності їх роботи. Ці методи не потребують введення додаткових, зазвичай дорогих реагентів, які можуть спричинити вторинне забруднення води та погіршити її якість. Однак безреагентні методи дозволяють достатньо ефективно видаляти залізо у випадках, коли:

- вихідна вода має рН 6,7 або вище і лужність не менше ніж 1,5 мг-екв/дм³;
- перманганатна окислювальність складає не більше 9,5 мгО₂/дм³;
- вміст тривалентного заліза Fe³⁺ становить не більше 10% від загального вмісту заліза Fe_{заг};
- вміст СО₂ ≤ 80 мг/дм³ і Н₂С ≤ 2 мг/дм³.

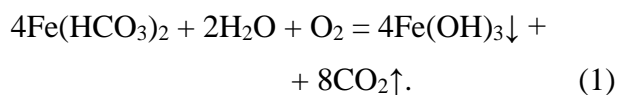
Безреагентні методи знезалізнення води на практиці реалізують, залучаючи в технологію різні процеси і споруди, для чого можуть використовуватись:

- спрощена аерація і фільтрування;
- вакуумно-ежекційна аерація і фільтрування;
- "суха" фільтрація.

Знезалізнення води шляхом спрощеної аерації і фільтрування знайшло широке застосування в різних технологічних схемах водопідготовки завдяки невеликій вартості споруд та простоті їх експлуатації [6, 9, 10].

Збагачення води киснем під час спрощеної аерації відбувається внаслідок падіння крапель з висоти не менше 0,5 м, що дозволяє досягнути концентрації розчинного у воді кисню до 5 мг/дм³. Розбрикування здійснюється завдяки використанню дірчастих лотків або труб з отворами, через які воду випускають зі швидкістю 1,5-2 м/с [9].

Упродовж спрощеної аерації двовалентне залізо окислюється і переходить у тривалентну форму, внаслідок чого утворюється малорозчинний осад з гідроксиду заліза Fe(OH)₃, який в подальшому видаляється з води, затримуючись на фільтрі, а також виділяється вуглекислий газ СО₂, який легко видаляється з води у повітря [9]:



У разі недостатньої насиченості води киснем в технологічних схемах може застосовуватись повітродувка, а для затримання утвореного осаду використовуватись одно- або двоступінчаті фільтрування (рис. 1) [6, 10].

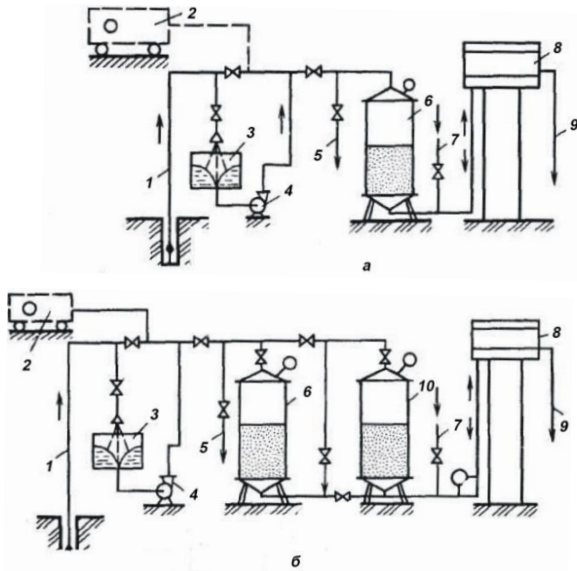


Рис. 1. Знезалізнення води з одноступінчатим (а) і двоступінчатим (б) фільтруванням: 1 – подача води на очищення; 2 – повітродувка; 3 – аераційне устаткування; 4 – насос; 5 – скидання промивної води; 6 і 10 – прояснювальний фільтр першого і другого ступеня; 7 – знезараження води; 8 – напірний бак; 9 – трубопровід знезалізненої води

Fig. 1. Deironing of water with one-stage (a) and two-stage (b) filtration: 1 – supply of water for purification; 2 – blower; 3 – aeration equipment; 4 – pump; 5 – draining of washing water; 6 and 10 – cleaning filter of the first and second stage; 7 – water disinfection; 8 – water pressure tank; 9 – pipeline of iron-free water

Однак, крім фізико-хімічного способу окиснення заліза й затримання утвореного осаду на фільтрі, цей процес може проходити за використання біологічного впливу, тобто із залученням специфічних залізобактерій, що дозволяє досягнути низки переваг [2, 3, 6, 9-13]:

- завдяки каталітичній дії специфічні залізобактерії досить швидко окислюють Fe^{2+} , споживаючи утворену енергію окиснення для підтримки своєї

життєдіяльності, при цьому отриманий гідроксид заліза $Fe(OH)_3$ накопичується в компактній формі, що значно збільшує і брудомісткість фільтра, і тривалість фільтроциклу;

- зростання швидкості окиснення Fe^{2+} в Fe^{3+} дозволяє збільшити швидкість фільтрування води, тим самим значно зменшуючи площу фільтра, а отже і вартість його будівництва;
- тривалість промивки фільтра займає всього 1-2 хв., що скорочує у 3 рази витрати промивної води, а отже суттєво знижує експлуатаційні затрати;
- мул з гідроксиду заліза $Fe(OH)_3$, що виноситься з промивною водою, має гущішу і щільнішу структуру, він швидше осідає у відстійнику, а отже спрощується робота очисної станції.

Досягнути позитивного біологічного впливу на процеси знезалізнення води можна за допомогою специфічних мікроорганізмів, зокрема залізобактерій *metallogenium personatum*, *caulococcus manganifer*, *bacteria manganicus*. Щоб забезпечити нормальну життєдіяльність таких мікроорганізмів необхідно створити сприятливе середовище для їх закріплення у фільтрувальному завантаженні. З цією метою використовують біофільтри з тонкими волокнами типу «Вія» [6].

На окиснення 1 мг заліза Fe^{2+} витрачається 0,143 мг кисню O_2 . Для збагачення води киснем у потрібній кількості спрощеної аерації цілком достатньо. Тільки за умов насичення води киснем відповідно до стехіометричної кількості переважатимуть біологічні процеси. У разі ж продування води повітрям та значному перевищенні необхідної кількості розчиненого у воді кисню буде переважати хімічне окиснення заліза, а життєдіяльність бактерій пригнічуватиметься.

Біологічний спосіб окислення заліза ліг в основу низки технологічних схем знезалізнення підземних вод для локальних водопроводів з використанням біореакторів із тонковолокнистим завантаженням для закріплення залізобактерій та контактено-прояснювальних фільтрів із легким плаваючим завантаженням для затримання утвореного

осаду. Видалення заліза з підземних вод може відбуватись як при самопливному русі води, так і в напірному режимі, що залежить від продуктивності й конструктивних особливостей установок [6, 9]. Розроблено конструкції водознезалізнюючих станцій баштового типу, що одночасно створюють необхідний в системі напір, а також автоматизованих установок, у яких переключення між робочим режимом та промивкою здійснюється без допомоги обслуговуючого персоналу [6, 14].

Разом з тим, незважаючи на суттєві переваги біологічного способу окиснення заліза, він має і свої недоліки, які полягають в необхідності створення сприятливих умов для закріплення залізобактерій та підтримання їх життєдіяльності, що не допускає зупинки водоочисної установки на тривалий час, інакше колонії мікроорганізмів гинуть і доводиться при наступному включенні установки в роботу виконувати «зарядку» фільтра, чекаючи, доки знову сформуються в достатній кількості колонії залізобактерій, здатні окиснювати залізо підземних вод. Крім того, під час експлуатації іноді виникають складнощі з волокнистим завантаженням біофільтрів, яке може піддатися обростанню, обриватися і потребувати періодичної заміни.

Безреагентне очищення води від заліза можна здійснювати і методом вакуумно-ежекційної аерації та фільтрування. Його суть полягає у швидкому і глибокому видаленні з підземних вод вуглекислого газу, сірководню, метану, і в той же час, досягається підвищення рН води до 7,3-7,5. Вода при цьому збагачується киснем повітря, відбувається окиснення двовалентного заліза та утворення оксидів і гідрооксидів заліза, які в подальшому затримуються на швидких або каркасно-засипних фільтрах (рис. 2) [6, 10].

Даний метод дозволяє знезалізнювати воду при вмісті заліза до 40 мг/дм³, значеннях рН ≥ 6,2, перманганатній окислюваності ≤ 9,5 мг О₂/дм³, лужності ≥ 1 мг-екв/дм³, вмісті вуглекислого газу ≤ 100 мг/дм³ та сірководню ≤ 10 мг/дм³.

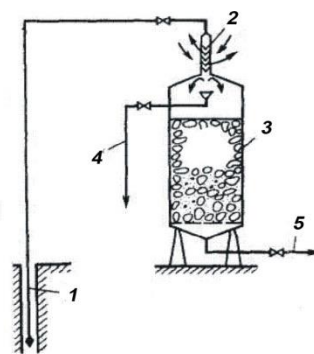


Рис. 2. Знезалізнення води методом вакуумно-ежекційної аерації і фільтрування на каркасно-засипних фільтрах: 1 – подача води на очищення; 2 – вакуумно-ежекційний апарат; 3 – каркасно-засипний фільтр; 4 – скидання промивної води; 5 – трубопровід знезалізненої води

Fig. 2. Deironing of water by the method of vacuum-ejection aeration and filtering on frame-backfill filters: 1 – water supply for cleaning; 2 – vacuum ejection device; 3 – frame and backfill filter; 4 – discharge of washing water; 5 – pipeline of iron-free water

Ще одним безреагентним методом знезалізнення підземних вод є "суха" фільтрація, що полягає у фільтруванні повітряно-водної емульсії крізь "сухе" (незанурене) зернисте завантаження фільтра зі створенням у ньому вакууму чи нагнітання повітря у великій кількості з наступним його відсмоктуванням з піддонного простору. При цьому виникає турбулентний рух водоповітряної суміші в порових каналах завантаження. Це сприяє молекулярному контакту води з поверхнею зерен контактної маси, на якій утворюється каталітична плівка з адсорбованих сполук заліза, що покращує процес знезалізнення (рис. 3) [6, 10].

У разі недостатньої ефективності застосування безреагентного знезалізнення вдаються до реагентних методів очищення підземних вод від заліза. Для цього використовують процеси і споруди, що можуть передбачати в своїх технологічних схемах [6, 10]:

- спрощену аерацію, обробку води сильними окислювачами і фільтрування;
- напірну флотацію з вапнуванням та наступним фільтруванням;

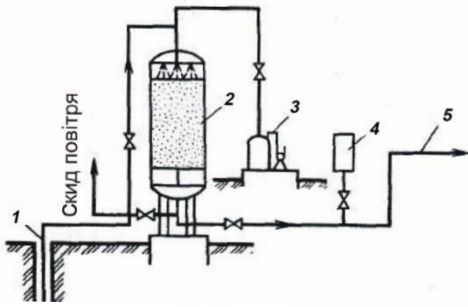


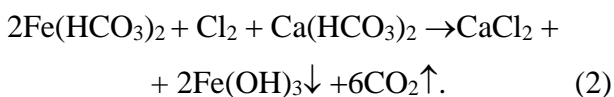
Рис. 3. Знезалізнєння води методом «сухої» фільтрації: 1 – подача води на очищення; 2 – швидкий фільтр із «сухим» завантаженням; 3 – повітродувка; 4 – знезараження води; 5 – трубопровід знезалізнєної води

Fig. 3. Deironing of water by the method of "dry" filtration: 1 - supply of water for purification; 2 – fast filter with "dry" loading; 3 – blower; 4 – water disinfection; 5 – pipeline of iron-free water

- вапнування, відстоювання в тонкошаровому відстійнику і фільтрування;
- фільтрування через модифіковане завантаження;
- електрокоагуляцію;
- катіонування.

При застосуванні реагентного методу знезалізнєння у вихідну воду для перетворення розчиненого заліза в нерозчинну форму вводяться спеціальні реагенти. Потрібного ефекту досягають або за допомогою окиснювачів (озону, хлору чи його сполук), або шляхом штучного підвищення рН води вище 8, вводючи вапняне молоко, соду чи інші коректори рН, а іноді використовуючи комбінацію цих обох способів впливу на процес знезалізнєння води.

У разі використання окиснювачів руйнуються речовини органічної та неорганічної природи, які знаходяться у ґрунтових водах. За використання в якості окиснювача хлору відбувається хімічна реакція:



Цей процес призводить до утворення вільного діоксиду вуглецю і часткового зниження рН води, що вимагає попереднього її підлужування [13].

Технології реагентного очищення води можуть передбачати контактне фільтрування через модифіковані завантаження, наприклад, використання марганцевих фільтрів, де перманганат калію утворює покриття на поверхні зерен, що слугує каталізатором окиснення двовалентного заліза. В схемах реагентного знезалізнєння води можливе додавання в оброблювану воду коагулянтів та флокулянтів. І всі ці сполуки, хоч і в незначних кількостях, але все ж таки можуть залишатися в очищеній воді, яку подають споживачам для питних цілей.

Досліджуючи сучасні тенденції у сфері водоочисних технологій, можна помітити, що все більшої популярності набувають нові сучасні матеріали комплексної дії для видалення заліза. До них відносяться, наприклад, гібридні сорбенти на основі аніонітів, модифікованих гуміновими речовинами. Їх застосування дає змогу без попереднього окиснення досягти глибокого видалення з природної води дво- і тривалентного заліза [15].

Використання іонітів у складі багатокомпонентних фільтруючих завантажень комплексної дії, що мають іонообмінні, сорбційні та фільтраційні властивості, вперше було розроблено в Україні як технологію комплексного очищення природних вод (Ecomix).

Нині у технологічних схемах водоочистки дедалі частіше застосовуються природні мінерали, такі як цеоліт, клиноптилоліт, палигорськіт, які характеризуються високою адсорбційною та іонообмінною здатністю щодо забруднень органічного і неорганічного походження. При цьому очищення води включає процеси фізичної і хімічної сорбції, іонного обміну та осадження [16, 17].

З метою покращення фізико-хімічних властивостей і збільшення адсорбційної ємності цеолітів здійснюють їх механічну, термічну або хімічну обробку. [18].

Поєднання у фільтрувальному завантаженні кремнеземного піску з природним мінералом клиноптилолітом дає змогу збільшити ефективність видалення з води сполук заліза, алюмінію, міді та амонійного азоту,

що пов'язано зі збільшенням в 1,5 рази пористості та адсорбційної ємності суміші піску з клиноптилолітом [19].

Одним із перспективних напрямків збільшення питомої поверхні сорбційних матеріалів та надання їм нових функціональних можливостей є включення у структуру носія нанорозмірних матеріалів на основі оксидів металів, дендримерів, цеолітів тощо, в результаті чого вони набувають більш розвинутої поверхні і працюють ефективніше [20].

Отже існує багато методів видалення заліза з підземних вод і способів підвищити ефективність роботи очисних станцій. Однак кожен з них має як переваги, так і недоліки, тому не існує технології, яка була б ідеальною для всіх умов її можливого застосування і реалізовувалась би в якійсь одній установці. У кожному конкретному випадку необхідно проводити ретельний аналіз вихідних даних щодо якості підземної води і вимог споживачів, продуктивності водозабору, місцевих умов, можливостей експлуатуючої організації тощо.

Оскільки підземні води, переважним чином, використовуються в локальних системах водопостачання для споживачів невеликих населених пунктів, то існує потреба в автоматизації роботи водознезалізнюючих установок з необхідністю мінімального втручання у їх експлуатаційні режими обслуговуючого персоналу. Цим вимогам відповідають сучасні фільтри з автоматичними клапанами керування (рис. 4).

Таким чином, проаналізувавши різні методи знезалізнення підземних вод та враховуючи потреби споживачів до якості питної води й вимоги щодо автоматизації переключень водоочисної установки на різні режими її роботи, найбільш перспективним в таких умовах бачиться використання безреагентного методу видалення заліза на фільтрі з автоматичним клапаном керування, у якому окиснення двовалентного заліза здійснюється киснем повітря, що перебуває у верхній частині споруди у вигляді повітряної подушки, а затримання утвореного осаду з гідроксиду заліза відбувається у фільтрувальному завантаженні, що являє собою

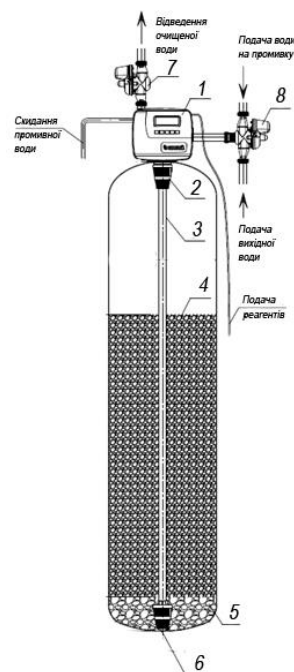


Рис. 4. Фільтр з автоматичним клапаном керування: 1 – автоматичний керуючий клапан; 2 і 6 – відповідно, верхній і нижній розподільчі пристрої; 3 – центральна труба; 4 – фільтрувальне завантаження; 5 – підтримуючий шар; 7 – клапан відключення подачі води під час регенерації; 8 – пристрій переключення потоків води

Fig. 4 Filter with automatic control valve: 1 – automatic control valve; 2 and 6 – respectively, upper and lower distribution devices; 3 – central pipe; 4 – filtering loading; 5 – supporting layer; 7 – water supply shut-off valve during regeneration; 8 – device for switching water flows

багатокомпонентну суміш із гравію, піску, антрациту, діоксиду марганцю, кальциту (рис. 5, а).

Регенерація такого фільтра здійснюється поетапно. Спочатку виконують зворотну промивку, під час якої вихідна вода подається по центральній трубі у нижню частину фільтра, а далі у висхідному потоці розпушує фільтруючий матеріал і вимиває з нього накопичені забруднення, які скидаються в дренаж (рис. 5, б). На другому етапі регенерації відбувається заповнення усього об'єму фільтра повітрям, яке повністю витісняє воду і скидає її в дренажну систему (рис. 5, в). На останньому етапі фільтр переходить у робочий режим експлуатації. При цьому

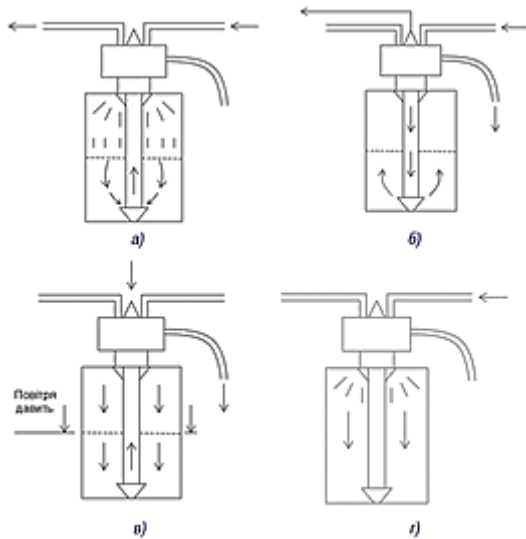


Рис. 5. Режими роботи фільтра з автоматичним клапаном керування: а) робочий режим фільтрування; б) зворотна промивка фільтра; в) заповнення фільтра повітрям; г) перехід фільтра у робочий режим

Fig. 5. Operating modes of a filter with an automatic control valve: a) filtering operating mode; b) backwashing of the filter; c) filling the filter with air; d) transition of the filter to the working mode

вихідна вода подається зверху через розподільник, розпилюється до стану туману, розповсюджується по усій площі споруди, проходить крізь фільтр, а повітря затискається зверху у повітряну подушку (рис. 5, г).

Переваги такої технології знезалізнення полягають в наступному:

- забезпечується екологічність і не погіршується якість фільтрованої води, оскільки не передбачається використання хімічних реагентів;
- низькі витрати на експлуатацію через застосування безреагентної технології з автоматизованим керуванням;
- невелика вартість завантаження фільтра, оскільки застосовуються природні матеріали, стійкі до зношуваності;
- компактність, так як усі фізико-хімічні процеси відбуваються в одній споруді.

Для перевірки ефективності застосування даної технології у різних умовах та можливості встановлення відповідних технологічних параметрів запропонованого фільтра передбачається здійснити низку експериментальних досліджень.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Аналіз технологій видалення заліза з підземних вод та досвіду їх застосування на практиці у поєднанні з дослідженнями сучасних тенденцій у галузі водоочистки дали змогу визначити перспективи удосконалення технологічних схем знезалізнення води. Для локальних систем водопостачання запропоновано використання фільтра з автоматичним клапаном керування й технологією безреагентного знезалізнення підземних вод, що здійснюється шляхом окиснення розчиненого заліза киснем затисненої повітряної подушки та затримання утвореного осаду у товщі багатокомпонентного фільтрувального завантаження. Перевагами такої технології є механічна міцність завантаження фільтра і невисока його вартість, простота експлуатації, відсутність забруднення очищеної води реагентами, компактність і автоматизація керування, що особливо актуально для водозабезпечення невеликих населених пунктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Орлов В. О., Мартинов С. Ю. Аераційні методи знезалізнення води // Вода і водоочисні технології, 2011. № 2(4). С. 42–52. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin>
2. Kvarthenko O., Sabliy L., Kovalchuk N., Lysytsya A.. The use of the biological method for treating iron containing underground waters // Journal of Water and Land Development, 2018. 39 (X-XII). 77-82. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0061>
3. Tekerlekpoulou, A. G., Vasiliadou, I. A., Vayenas, D. V. Physico-chemical and biological iron removal from potable water // Biochemical Engineering Journal, 2006. 31 (1). 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.05.020>
4. Alaa Uldeen Athil Arif, Mohamed Tarek Sourour, Samia Ahmed Aly. Design and Comparison of Wastewater Treatment Plant Types (Activated Sludge and Membrane Bioreactor), Using GPS-X Simulation Program: Case Study of Tikrit WWTP (Middle Iraq) // Journal of Environmental Protection, 2018. 9. 636-651. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.96040>
5. E. Gürtekin. Experimental and numerical design of renewable-energy-supported advanced biological wastewater treatment plant // International Journal of Environmental Science and

Technology, 2019. Volume 16. Issue 2. 1183–1192. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2088-x>

6. Хоружий П. Д., Хомуцька Т. П., Хоружий В. П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. К: Аграрна наука, 2008. 534 с.

7. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski, V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water // Environmental Technology, 2023. 45(14). 2735–2742.

<https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2185820>

8. Trus I., Halysh V., Gomelya M., Radovenchuk, V. Water deironing through the reagent and biosorption treatment and utilization of iron-rich sediments and biosorbents in cement production // Chemistry and Ecology, 2024. 1–12. <https://doi.org/10.1080/02757540.2024.2396824>

9. Стасюк С. Р. Лабораторні дослідження процесів знезалізнення підземних вод біологічним методом // Вісник НУВГП, 2017. Вип. 4. С. 42-51. URL: <http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin>

10. Журба М. Г. Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т. 2. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. 552 с.

11. Thapa Chhetri R., Suzuki I., Takezaki J., Tabusa H., Takeda M., Koizumi J. Bacterial diversity in biological filtration plant for the removal of iron and manganese from groundwater // Journal of Water and Environment Technology, 2013. 11(1), 33-47.

<https://doi.org/10.2965/jwet.2013.33>

12. Sheng Y., Kaley B., Bibby K., Grettenberger Chr., Macalady Jen. L., Wang G., Burgos W. D. Bioreactors for low-pH iron(II) oxidation remove considerable amounts of total iron // The Royal Society of Chemistry Advances, 2017. 7(57). 35962–35972. <https://doi.org/10.1039/c7ra03717a>

13. Квартенко О., Присяжнюк І. Моделювання процесу біологічного знезалізнення підземних вод в контактному завантаженні біореакторів // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2022. Вип. 41. С. 19-30. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.19-30>

14. Хомуцька Т., Хоружий В., Андреев В., Нор В. Очистка природних і доочищення стічних вод на гідроавтоматичній установці в локальних водопроводах // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2019. Вип. 32. С. 51–58. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2019.32.51-58>

15. Z. Maletskyi, T. Mitchenko, N. Makarova, W. Hoell. Properties of anion exchange resins

exhausted by humic compounds // Desalination and Water Treatment, 2011. 25 (1-3). 78-83. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.1524>

16. I. Pandová, M. Rimár, A. Panda, J. Valíček, M. Kušnerová, M. Harničárová. A study of using natural sorbent to reduce iron cations from aqueous solutions // International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020. 17 (10). 3686. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103686>

17. I. C. Ostroski, M. A. Barros, E. A. Silva, J. H. Dantas, P. A. Arroyo, O. C. Lima. The removal of Fe (III) ions by adsorption onto zeolite columns // Adsorption Science & Technology, 2007. 25 (10). 757-768.

<https://doi.org/10.1260/026361707785284239>

18. E. Neag, A. I. Török, C. Tanaselia, I. Aschilean, M. Senila. Kinetics and equilibrium studies for the removal of Mn and Fe from binary metal solution systems using a Romanian thermally activated natural zeolite // Water, 2020. 12 (6). 1614.

<https://doi.org/10.3390/w12061614>

19. S. Lin, H. He, R. Zhang, J. Li. Removal of Fe (II) and Mn (II) from aqueous solution by palygorskite // in Int. Conf. on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, 2011.

<https://doi.org/10.1109/cdciem.2011.341>

20. A. Mashkuri, A. Saljooqi, Z. Tohidiyan. Nano clay Ni/NiO nanocomposite new sorbent for separation and preconcentration dibenzothiophene from crude prior to UV–vis spectrophotometry determination. // Analytical Chemistry Research, 2017. 12. 47-51.

<https://doi.org/10.1016/j.ancr.2017.02.002>

REFERENCES

1. Orlov, V. O., & Martynov, S. Yu. (2011). Aeration methods of iron removal of water. *Water and water treatment technologies*, 2(4), 42-52. Retrieved from: <http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin>

2. Kvartenko, O., Sabliy, L., Kovalchuk, N., & Lysytsya, A. (2018). The use of the biological method for treating iron containing underground waters. *Journal of Water and Land Development*, 39(X-XII). 77-82. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0061>

3. Tekerlekopoulou, A. G., Vasiliadou, I. A., Vayenas, D. V. (2006). Physico-chemical and biological iron removal from potable water. *Biochemical Engineering Journal*, 31(1), 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.05.020>

4. Arif, A. U. A., Sorour, M. T., & Aly, S. A. (2018). Design and Comparison of Wastewater Treatment Plant Types (Activated Sludge and

- Membrane Bioreactor), Using GPS-X Simulation Program: Case Study of Tikrit WWTP (Middle Iraq). *Journal of Environmental Protection*, 9, 636-651. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.96040>
5. **Gürtekin, E. (2019)**. Experimental and numerical design of renewable-energy-supported advanced biological wastewater treatment plant. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 16(2). 1183–1192. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2088-x>
6. **Khoruzhy, P. D., Khomutetska, T. P., & Khoruzhy, V. P. (2008)**. *Resource-saving technologies of water supply*: textbook. way. Kyiv.: Agrarian Science. [in Ukrainian].
7. **Yushchenko, V., Velyugo, E., & Romanovski, V. (2023)**. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water. *Environmental Technology*, 45(14), 2735–2742. <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2185820>
8. **Trus, I., Halysh, V., Gomelya, M., & Radovenchyk, V. (2024)**. Water deironing through the reagent and biosorption treatment and utilization of iron-rich sediments and biosorbents in cement production. *Chemistry and Ecology*, 40(10). 1178-1189. <https://doi.org/10.1080/02757540.2024.2396824>
9. **Stasiuk, S. R. (2017)**. Laboratory studies of processes of groundwater de-ironing by biological methods. *Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management. Technical sciences*. 4. 42-51. Retrieved from <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin>
10. **Zhurba, M. G., Sokolov, L. I., & Govorova, Zh. M. (2010)**. *Water supply. Design of systems and structures*: in 3 volumes. Volume 2. Moscow. [in Russian].
11. **Thapa Chhetri, R., Suzuki, I., Takezaki, J., Tabusa, H., Takeda, M., & Koizumi, J. (2013)**. Bacterial diversity in biological filtration plant for the removal of iron and manganese from groundwater. *Journal of Water and Environment Technology*, 11(1). 33-47. <https://doi.org/10.2965/jwet.2013.33>
12. **Sheng, Y., Kaley, B., Bibby, K., Grettenberger, Chr., Macalady Jen, L., Wang, G., & Burgos W. D. (2017)**. Bioreactors for low-pH iron(II) oxidation remove considerable amounts of total iron. *The Royal Society of Chemistry Advances*, 7(57). 35962–35972. <https://doi.org/10.1039/c7ra03717a>
13. **Kvartenko, O., & Prysiazniuk, I. (2022)**. Modeling the process of biological deferrization of underground waters in contact loading of bioreactor. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*, 41. 19-30. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.19-30>
14. **Khomutetska, T., Khoruzhiy, V., Andreev, V., & Nor, V. (2019)**, Purification of natural and pre-treatment of wastewater on a hydraulic automatic installation in local water supply systems. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 32. 51–58. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2019.32.51-58>
15. **Maletskyi, Z., Mitchenko, T., Makarova, N., & Hoell, W. (2011)**. Properties of anion exchange resins exhausted by humic compounds. *Desalination and Water Treatment*, 25 (1-3), 78-83, <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.1524>
16. **Pandová, I., Rimár, M., Panda, A., Valíček, J., Kušnerová, M., & Harničárová, M. (2020)**. A study of using natural sorbent to reduce iron cations from aqueous solutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10). 3686. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103686>
17. **Ostroski, I. C., Barros, M. A., Silva, E. A., Dantas, J. H., Arroyo, P. A., & Lima O. C. (2007)**. The removal of Fe (III) ions by adsorption onto zeolite columns. *Adsorption Science & Technology*, 25(10). 757-768. <https://doi.org/10.1260/026361707785284239>
18. **Neag, E., Török, A. I., Tanaselia, C., Aschilean, I., & Senila, M. (2020)**. Kinetics and equilibrium studies for the removal of Mn and Fe from binary metal solution systems using a Romanian thermally activated natural zeolite. *Water*, 12(6), 1614,. <https://doi.org/10.3390/w12061614>
19. **Lin, S., He, H., Zhang, R., & Li, J. (2011)**. Removal of Fe (II) and Mn (II) from aqueous solution by palygorskite. *Conf. on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring*. 2181-2185. <https://doi.org/10.1109/cdciem.2011.341>
20. **Mashkuri, A., Saljooqi, A., & Tohidian, Z. (2017)**. Nano clay Ni/NiO nanocomposite new sorbent for separation and preconcentration dibenzothiophene from crude prior to UV–vis spectrophotometry determination. *Analytical Chemistry Research*, 12, 47-51. <https://doi.org/10.1016/j.ancr.2017.02.002>

Perspectives for improving deironing technologies groundwater for local drinking systems

Tetiana Kurbanova, Tetiana Khomutetska

Abstract. In order to provide the population with high-quality drinking water, it is more expedient to focus on the use of underground sources of water supply, which are better protected from pollution in comparison with surface waters. However, a significant part of the underground sources of water supply is characterized by a high iron content, and the water from them needs to be de-ironed before being supplied to consumers. Removal of excessive iron content from underground water can be carried out by reagent or reagent-free methods, using water de-iron installations of various design schemes and resorting to measures that increase the efficiency of their work. On the basis of the analysis of existing technologies for removing iron from groundwater and modern trends in the field of water purification, it is proposed for local water supply systems to use a filter with an automatic control valve and a technology that provides for reagent-free iron removal of groundwater due to the oxidation of dissolved iron with air cushion oxygen and further detention of the sediment formed in the layer of the multicomponent filter load. This technology is characterized by low cost and wear resistance of natural filter materials, ease of operation, environmental friendliness, which excludes secondary contamination of purified water with reagents, compactness and automation of control processes, which is especially relevant for small settlements.

Key words: local water supply system, underground water, iron removal, filter loading, aeration, filtration, water treatment plant.

Стаття надійшла до редакції 07.11.2024