

2. *Лукиних А.А., Лукиних Н.А.* Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского / 4-е изд, доп. М.: Стройиздат, 1974. 156 с.

3. *Карелин Я. А.* Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей из пластмассовых труб круглого сечения: справочное пособие. М.: Стройиздат, 1986. 53 с.

4. *Корсис.* Безнапорная и ливневая канализация: техническое руководство. К.: Группа поли пластик, 2011. 44 с.

5. *Константинов Ю.М., Гіжа О.О.* Інженерна гідраліка. Підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Видавничий Дім «Слово», 2006. 439 с.

6. *Константинов Ю.М., Гіжа О.О.* Технічна механіка рідини і газу: Підручник. К.: Вища шк., 2002. 277 с.: іл..

7. *Калюжний А.П.* Економічне порівняння варіантів гідралічного розрахунку мережі водовідведення // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. Вип.№1 (83). Харків: ХНУБА, ХОТВАБУ, 2016. С. 193-196.

8. *Kalyuzhniy A.P.* Comparison of the hydraulic calculations tables networks sewerage // Сборник научных трудов «Energy, energy saving and rational nature use», 2015. Вып №2 (5) С.32-35.

9. *Аверкеев И.* Сравнительный анализ альтернативных методик гидравлического расчета канализационных трубопроводов из полимерных материалов // Журнал: «Полимерні труби – Україна» Вип.№4 (37). К: / Група поліпластик, 2015. С. 42-45.

Надійшло до редакції 21.11.2016

УДК 628.15

О.М. КВАРТЕНКО, кандидат технічних наук
Національний університет водного господарства та природокористування,
м.Рівне

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОТИ СТАНЦІЙ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ В ГРАВІТАЦІЙНОМУ РЕЖИМІ

Проведено аналіз сучасного стану станцій знезалізнення води. Розроблена класифікація методів інтенсифікації їх роботи, а також визначені оптимальні параметри рН-Еh середовища, крупності фільтруючого завантаження, швидкостей фільтрування. За результатами досліджень наведені технологічні схеми та обладнання станцій на яких були впроваджені запропоновані методи інтенсифікації їх роботи.

Ключові слова: інтенсифікація роботи станцій знезалізнення, залізобактерії, біореактор, гідроавтоматична промивка фільтрів, сифон.

Выполнен анализ современного состояния станций обезжелезивания воды. Разработана классификация методов интенсификации их работы, а также определены оптимальные параметры pH-Eh среды, крупности фильтрующей загрузки, скоростей фильтрования. По результатам исследований приведены технологические схемы и оборудование станций на которых были внедрены предложены методы интенсификации их работы.

Ключевые слова: интенсификация работы станций обезжелезивания, железобактерии, биореактор, гидроавтоматическая промывка фильтров, сифон.

The analysis of the current state of water iron removal plants. The classification methods intensify their work, and the optimum parameters Eh-pH environment, the size of the filter loading, filtering speeds. According to research presented technological schemes and equipment stations which were introduced proposed methods of intensification of their work.

Key words: intensification of iron removal plants, iron bacteria, bioreactor, hydro-flushing filters trap, siphon.

Від надійної роботи водоочисних станцій в системах водопостачання населених пунктів значної мірою залежить їх соціальний розвиток та здоров'я населення. За даними [1; 50] переважна більшість споруд була побудована 30...40 років тому і на сьогодні є морально застарілими. Для очищення підземних вод використовуються тільки станції знезалізнення води, більшість з яких потребує реконструкції [1;51]. В малих населених пунктах є необхідність будівництва нових водоочисних станцій. Більшість із діючих станцій знезалізнення працюють за методом спрощеної аерації – фільтрування на гравітаційних або напірних фільтрах. За цим методом збагачена киснем повітря вода відразу ж направляється на фільтри, де із часом в результаті адсорбції іонів закисного заліза та молекулярного кисню на поверхні зерен фільтруючого завантаження утворюється каталітична плівка, на якій в подальшому відбувається сорбція та окиснення заліза [2,24; 3,27; 4, 30]. Метод має відповідні обмеження як за якістю вихідної води ($Fe^{2+} < 10 \text{ мг/дм}^3$; $H_2S < 0,5 \text{ мг/дм}^3$; $pH \geq 6,7$; перманганатної окисності не більш ніж 5 мгО/дм^3), так і за швидким приростом втрат напору шляхом утворення у міжпоровому просторі завантаження структур у вигляді пухких пластівців гідроокису заліза, які мають у своїй структурі велику кількість молекул води. Промивка фільтрів відбувається за допомогою промивних насосів або промивних ємностей баштового типу з насосами підкачки. Всі операції на таких станціях виконуються в ручному режимі за допомогою електрифікованих засувок із загальною кількістю не менше чотирьох на кожен фільтр.

Проаналізувавши відомі безреагентні методи знезалізнення води, можливо зробити висновки щодо їх екстенсивності, енергоємності, значних капітальних та експлуатаційних витратах, складності в експлуатації.

Актуальним завданням інтенсифікації роботи станцій знезалізнення є переведення їх від екстенсивних технологій до технологій, які забезпечують високу швидкість окиснення сполук заліза, зменшення об'ємів промивних вод, збільшення тривалості фільтроциклу, покращення умов експлуатації, зменшення капітальних та експлуатаційних витрат. На основі проведеного літературного огляду [2-7, 14-15], а також за результатами наших досліджень [8-13], проведених при реконструкції діючих та впровадженні нових станцій знезалізнення, стала можливою розробка класифікатора методів інтенсифікації їх роботи (рис.1). До яких слід віднести: впровадження біохімічного методу знезалізнення, гідроавтоматизацію роботи фільтрів, вдосконалення систем аерації, активацію біофлокуляційних процесів в постійному магнітному полі.

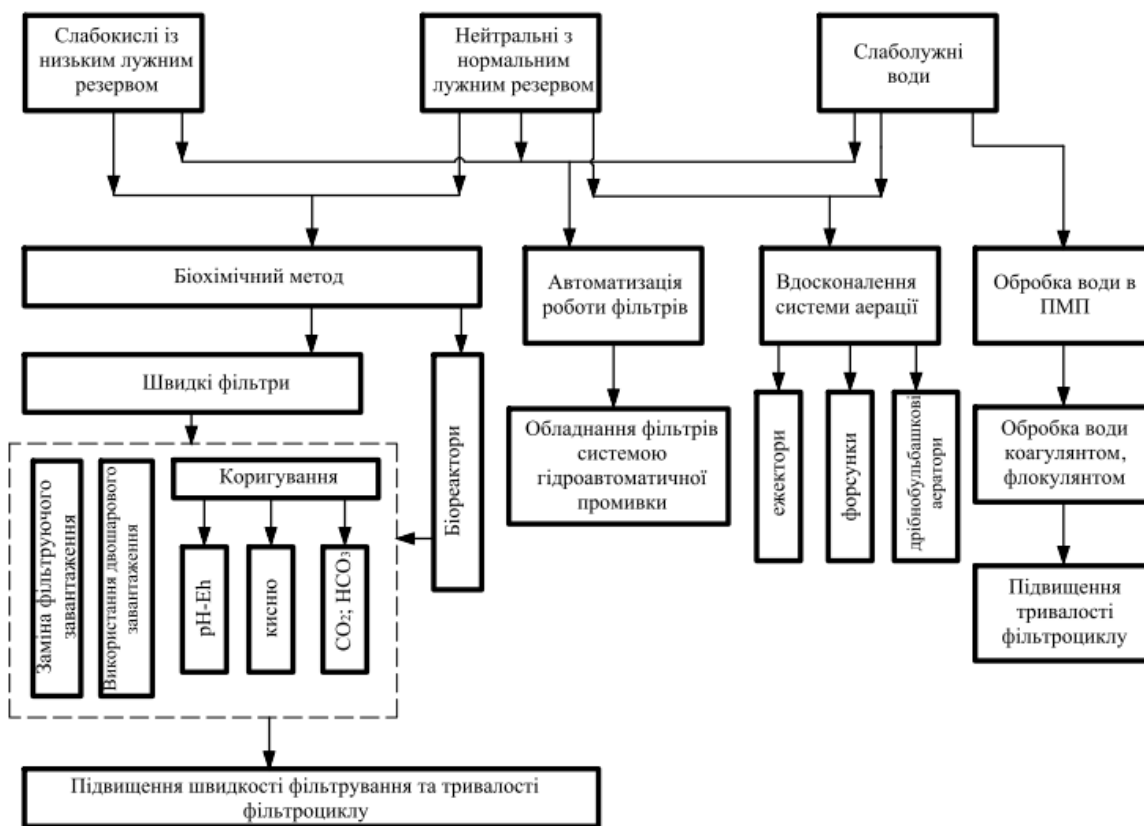


Рис. 1. Класифікація методів інтенсифікації роботи станцій знезалізнення в залежності від активної реакції рН та лужності

Слід відмітити, що використання біохімічного методу є доцільним лише у слабокислих та нейтральних водах із низьким або нормальним лужним середовищем. В роботах [7,158; 8; 9,36; 10,161] визначені оптимальні параметри рН-Eh середовища необхідні для розвитку консорціумів залізобактерій. В цих випадках можливе переобладнання існуючих традиційних схем до схем за методом біологічного знезалізнення шляхом впровадження наступних заходів:

- заміни фракційного складу фільтруючого завантаження із дрібнозернистих фракцій ($\delta = 0,6...1,8$ мм) на: гравійне $\delta = 10...30$ мм

- [6,163; 9,49]; кварцового піску середньої зернисті ($\delta = 2$, мм) [7,160]; гранітного щебню $\delta = 5,0...10$ мм, або пінополістиролу $\delta = 3,0...10$ мм [9,45; 50];
- проведення коригування величин рН – Eh середовища [7,158; 9; 11,116; 13,20];
 - використання попереднього підлучення вихідної води розчином кальцинованої соди при знезалізенні слабокислих вод із низьким лужним резервом [12,34-38];
 - проведення коригування концентрацію кисню перед біореактором [7,162].

Зазначені кроки дозволять інтенсифікувати роботу станцій знезалізення шляхом збільшення до 10...20 м/год швидкостей фільтрування, тривалості фільтроциклів, зменшити витрати реагентів та об'ємів промивних вод. За даними досліджень Pierre Mouchet брудомісткість за цикл $\text{кгFe}/\text{м}^2$ при концентрації заліза у вихідній воді $5,0 \text{ мг}/\text{дм}^3$ для гравітаційних та напірних фільтрів, які працюють за традиційними фізико-хімічними методами знезалізення, відповідно становить $0,5...0,6 \text{ кгFe}/\text{м}^2$ та $0,8 \text{ кгFe}/\text{м}^2$, а для фільтрів із використанням методу біохімічного окиснення – до $3,5 \text{ кгFe}/\text{м}^2$ [7,162]. Підвищення питомої брудомісткості фільтруючого завантаження, при біологічному знезалізенні у порівнянні із традиційними безреагентними методами, пояснюється структурою чохлів залізобактерій (рис.2). Чохли представляють собою біо-мінерали, які містять мінімум гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$ і в основному складається із лепідокрокіту γ – $\text{FeO}(\text{OH})$, іноді з гетиту α – $\text{FeO}(\text{OH})$. Ці кристалічні форми більш компактні, ніж аморфний осад із гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

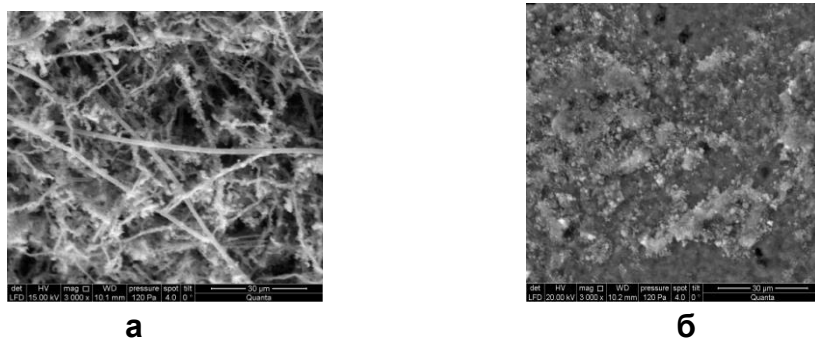


Рис. 2. Структура осаду промивних вод (а) та біоплівки з гранули пінополістирольного завантаження (б) біореактору станції знезалізення води в м. Березне: **а** – залізобактерії *Gallionella*, *Leptothrix* в промивних водах біореактору, РСМ 3000 х; **б** – структура поверхні каталітичної біоплівки РСМ 6000 х

Біо-мінерали, які формуються в чохлах навколо бактеріальних клітин, є більш щільними, менш кальматують міжпоровий простір, легше піддається промивці, що призводить до збільшення у 3-4 рази швидкостей фільтрування та тривалості фільтроциклів. Для зменшення навантаження на фільтри в якості першого ступеня на станціях знезалізення нами рекомендовано

впровадження біореакторів спеціальних конструкцій [13,44]. В період з 2002 по 2006 роки в системі водопостачання м. Березне вперше в Україні та на теренах СНД за рекомендаціями М.Г. Журби та О.М. Квартенко була запроєктована та введена в експлуатацію станція біологічного знезалізнення продуктивністю до 2000 м³/добу з біореактором, який знаходиться на відкритому повітрі за межами фільтрувального залу, що дало змогу значно скоротити капітальні вкладення при її будівництві. До складу станції входили: колона біореактора, діаметром 2,60 м та висотою 7,5 м, три відкритих пінополістирольних фільтри розмірами 2,0x2,0x4,3 м, блок знезараження води. У 2012 році автором були зроблені рекомендації щодо модернізації блоку аерації біореактора [16], системи промивки фільтрів та впровадження блоку стабілізаційної обробки води (рис.3).

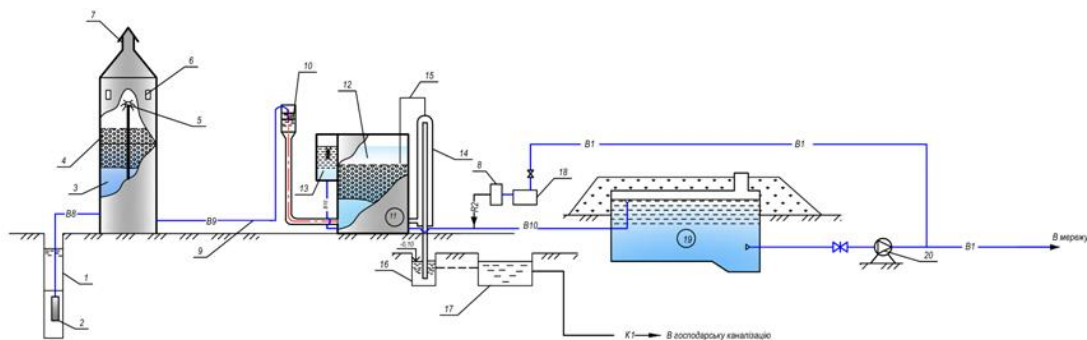


Рис. 3. Технологічна схема очистки підземних вод: **1** – свердловина; **2** – занурений електронасос; **3** – біореактор; **4** – контактне завантаження; **5** – ГДК; **6-7** – вентиляційні вікна та короб; **8, 18** – блок дозування гіпохлориту натрію; **9** – трубопровід подачі води; **10** – повітровідділювач; **11** – освітлювальний пінополістирольний фільтр; **12** – промивний бак; **13** – карман збору та відведення фільтрату; **14** – гідроробот; **15** – трубка зриву вакууму; **16** – гідрозатор; **17** – канал для збору та відведення відпрацьованих промивних вод; **19** – РЧВ; **20** – НС –II

Біореактор завантажено крупногранульним пінополістиролом (6...12 мм) товщиною шару 0,8 м. Завантаження знаходиться в напівзатопленому стані. Швидкість фільтрування через завантаження складає 15...20 м/год. Після першого ступеня очистки вода поступає на три паралельно працюючі фільтри з плаваючим пінополістирольним завантаженням крупністю фракцій $\delta = 0,63...2$ мм. Перед кожним фільтром на підвідному трубопроводі передбачено повітровідділювач. У шарі завантаження при висхідному напрямку фільтрування відбувається доочистка води від залишків пластівців гідроксиду заліза та часток біоплівки, що виносяться з біореактора. Швидкість фільтрування при нормальному режимі фільтрування складає до 6,5 м/год, при форсованому режимі (при промивці) – 10 м/год. Тривалість та інтенсивність промивки фільтрів складає відповідно 4 хвилини та 15 л/с·м².

Фільтри обладнані системою гідроавтоматичної промивки, яка дозволяє відмовитися від застосування промивних насосів, ємкостей, та трьох засувок на кожний фільтр. Крім того, це значно спрощує процес експлуатації станції знезалізнення. Тривалість утворення біологічної плівки на гранулах пінополістиролу складала декілька місяців. Результати одного із характерних фільтроциклів, від 18.02-21.02.12, після промивки біореактору та фільтру наведені на рис. 4. Продуктивність станції за зазначений період змінювалась в межах 36...44 м³/год. Відповідно швидкості фільтрування змінювались від 3,8 м/год, в період від початку фільтроциклу до 21 години, до 4,6 м/год в період від 21 до 55 години. Така нерівномірність в подачі води характеризується незначним збільшенням концентрації заліза у фільтраті в інтервалі 21 години. Час контакту із фільтруючим завантаженням становив 20...25 хвилин, загальний час перебування у фільтрах 50...60 хвилин. Залізо надходило на фільтри в основному (до 85%) в окисненій формі. Промивка фільтру проводилась після 42 годин від початку фільтроциклу. Основні окисні процеси відбуваються в біореакторі, який працював на відкритому повітрі. В подальшому тривалість фільтроциклів була збільшена до 48...72 годин.

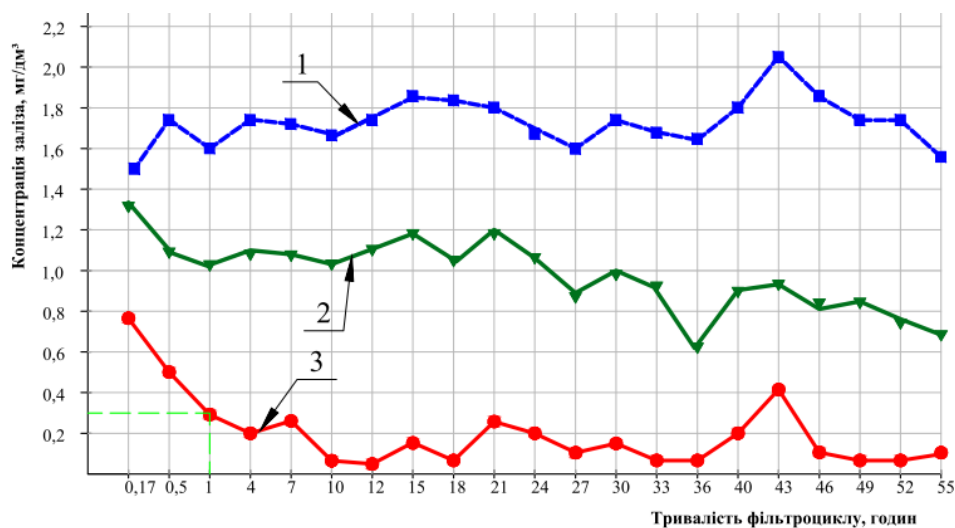


Рис. 4. Динаміка зміни вмісту Fe_{загальне} у вихідній воді, після біореактору та фільтру: 1 – вихідна вода; 2 – після біореактору; 3 - після фільтру

Для інтенсифікації роботи станцій знезалізнення необхідно використовувати сучасні системи аерації, які дозволяють збільшити масообмін в системі кисень – вода, зменшити витрати електроенергії, спростити експлуатацію.

На рис. 5 наведені фото процесу гідроавтоматичної промивки фільтрів за рахунок системи сифонів конструкції «труба в трубі».



а

б

в

Рис. 5. Система гідроавтоматичної промивки – сифон «труба в трубі»:
а – в нормальному режимі фільтрування; **б** – на початку промивки; **в** – в кінці промивки

Висновки. В результаті проведеного аналітичного літературного огляду, а також базуючись на результатах власних досліджень, стало можливим рекомендувати біологічний метод в якості одного із можливих методів інтенсифікації роботи станцій знезалізнення. Застосування цього методу дає змогу підвищити до 10...20 м/год швидкості фільтрування на біореакторах, підвищити в 5-6 разів брудомісткість фільтрів, в 2-3 рази тривалість фільтроциклів. Для спрощення експлуатації діючих та нових станцій рекомендовано обладнувати фільтри системами гідроавтоматичної промивки. Для слаболужних вод рекомендовано застосовувати сучасні системи аерації, а також використовувати дію постійного магнітного поля на воду яка обробляється.

Список літератури

1. *Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2003 році.* Рівне: НУВГП, 2005. 142 с.
2. *Николадзе Г.И.* Обезжелезивание природных и оборотных вод. М.: Стройиздат, 1978. 160 с.
3. *Золотова Е.Ф.* Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. М.: Стройиздат. 1975. 176 с.
4. *Знезалізнення підземних вод для питних цілей: Монографія.* Під загальною редакцією В.О.Орлова. Рівне: Видавничий центр УДУВГП, 2004. 153 с.
5. *Орлов В.О.* Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням: Монографія. Рівне: Видавничий центр НУВГП, 2008. 158 с.
6. *Сафонов Н. А.* Самопромывающаяся установка для биологического обезжелезивания подземных вод. //Подготовка воды для хозяйственно-питьевых целей, ЛИСИ. 1984. С. 162-167.

7. *Mouchet, P.* From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France // Journal of the American Water Works Association, 1992. Vol. 84, no 4. P. 158-167.

8. *Квартенко А. Н.* Использование закрепленной микрофлоры для очистки подземных вод с высокой концентрацией железа: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.04. Ровно, 1997. 180 с.

9. *Самопромывающиеся* водоочистные установки (технология, конструкции и расчет). Монография под общей редакцией Н.А. Сафонова. Ровно, Издательство РДГУ, 2000. 156 с.

10. *Квартенко А.Н.* Основы биохимического метода очистки подземных железосодержащих вод. Вісник РДТУ. Збірник наукових праць, 2000. Випуск 5(7). С. 158-165.

11. *Квартенко А.Н.* Роль закрепленной микрофлоры при очистке подземных вод сложного физико-химического состава. Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. Выпуск 93. Серия Технические науки и архитектура. К.: Техника, 2010. С. 115-120.

12. *Квартенко А.Н.* Характеристика подземных вод Северо-Западных областей Украины и технологические схемы их кондиционирования // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Науково-технічний збірник. К.: КНУБА, 2011. Випуск 16. С.32-40.

13. *Журба М.Г., Говорова Ж.М., Квартенко А.Н., Говоров О.Б.* Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника, 2006. № 9 (часть 2). С. 17-23.

14. *Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П.* Исследование процессов и разработка технологии обезжелезивания подземных вод с помощью железобактерий. Химия и технология воды, 2003. Т.25. №5 С.465-475.

15. *Хомутецька Т.П.* Знезалізнення підземних вод біологічним методом на установках з волокнисто-пінополістирольними фільтрами // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Науково-технічний збірник. К.: КНУБА, 2010. Випуск 14. С.22-33.

16. *Пат. України № 107844, МКП (51).* Спосіб очистки підземних вод від стійких форм органічних та залізоорганічних сполук. Квартенко О.М. № заявки: а2013 02538; опубл. 25.02.15. Бюл. № 4.

Надійшло до редакції 8.11.2016