

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

Л.А. САБЛІЙ, доктор технічних наук  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТАНЦІЇ ОЧИЩЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД В УМОВАХ ЗМІН ГІДРАВЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

*В роботі наведено результати досліджень щодо впливу різних за тривалістю технологічних перерв на якість фільтрату станції знезалізнення. Вивчено ефективність очищення підземних вод при змінному, протягом фільтроциклу, гідравлічному навантаженні. Встановлено, що запропонована технологія дозволяє досягти стабільного ефекту очищення в даних умовах при вмісті заліза до 8,0 мг/дм<sup>3</sup>, азоту амонійного до 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, розчинених органічних сполук до 6,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.*

**Ключові слова:** біореактор, гідравлічне навантаження, залізобактерії, інтенсивність промивки.

*В работе приведены результаты исследований влияния различных по продолжительности технологических перерывов на качество фильтрата станций обезжелезивания. Изучена эффективность очистки подземных вод при изменяющейся, на протяжении фильтроцикла, гидравлической нагрузке. Установлено, что предложенная технология позволяет достичь стабильного эффекта очистки в данных условиях при содержании железа до 8,0 мг/дм<sup>3</sup>, азота аммонийного до 1,0 мг /дм<sup>3</sup>, растворенных органических соединений до 6,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.*

**Ключевые слова:** биореактор, гидравлическая нагрузка, железобактерии, интенсивность промывки.

*The proposed paper considers consequences of using various power saving ways of water supply upon the efficiency of operating stations treating underground waters. The aim of this paper is to study the efficiency and reliability of operating the technological equipment designed for treating multi-component underground waters in conditions of the irregularity of the specific hydraulic loading during day and night. It is established that the proposed technology allows to achieve a stable purification effect in these conditions from ferrum compounds (up to 8,0 mg/dm<sup>3</sup>), ammonia nitrogen (up to 1,0 mg/dm<sup>3</sup>, dissolved organic substances (PO up to 6,0 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>).*

**Key words:** bioreactor, changing hydraulic load, iron bacteria, washing intensity.

**Вступ.** В умовах збільшення тарифів на електроенергію багато станцій очищення природних вод переходять на подачу води за декількома схемами. Перша передбачає роботу станції у форсованому режимі у нічні години за зменшеним тарифом, з метою максимального наповнення резервуарів чистої води, та подальшою плановою перервою подачі води на технологічне обладнання. Інша схема передбачає використання частотних перетворювачів, які дозволяють синхронізувати роботу насосного обладнання з витратами води населеним пунктом.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За результатами досліджень [1,2] встановлено, що при технологічній зупинці фільтрів більш ніж на три години концентрація кисню в піщаному завантаженні зменшується до нуля, і починаються процеси відновлення сполук феруму та мангану. Концентрація заліза у пробах фільтрату становила при цьому  $1,0 \text{ мг/дм}^3$ , а нормальна робота фільтрів відновлювалася через 1,5 години після поновлення фільтроциклу. При тривалості зупинки фільтрів більш ніж на 24 години в пробі фільтрованої води все залізо знаходилося у двовалентній формі. При цьому концентрація  $\text{Fe}^{2+}$  перевищувала  $10 \text{ мг/дм}^3$  при концентрації заліза у вихідній воді до  $2,0 \text{ мг/дм}^3$  [2]. Робота фільтрів нормалізувалася повністю тільки через 4 години після відновлення фільтроциклу. Це було пов'язано із зміною співвідношень різноманітних груп залізобактерій в матриксних структурах міжпорового простору. Кількість залізоредакуючих бактерій становила  $2 \cdot 10^9$  кл/мл [2]. Результатом їх діяльності було відновлення сполук заліза в товщі фільтруючого завантаження з їх подальшим вимиванням у резервуари чистої води (РЧВ) та надходженням у водопровідну мережу населеного пункту. Тому технологічні зупинки фільтрів більш ніж на три години є недоцільними з точки зору як експлуатації водоочисного обладнання, так і надійності роботи водоочисної станції. В роботі [3] досліджено систему «біореактор – фільтр» при безперервній подачі води на водоочисне обладнання із зміною середньодобових витрат води при концентраціях феруму у вихідній воді від  $2,64$  до  $8,83 \text{ мг/дм}^3$ , мангану  $0,1 \dots 0,14 \text{ мг/дм}^3$ , рН  $6,86 \dots 7,17$ , перманганатній окисності  $1,9 \dots 2,1 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ . Швидкості фільтрування підтримували в межах  $13,7 \dots 27,3$  м/год для біореакторів та  $8,7 \dots 16,7$  м/год для освітлювальних фільтрів. Встановлено, що із збільшенням тривалості роботи технологічного обладнання покращується ефективність його роботи. Тривалість роботи біореактора в даних умовах не перевищувала 7 діб, освітлювальних фільтрів 24 години.

У випадку встановлення на водоочисній станції частотних перетворювачів спостерігається нерівномірність гідравлічного навантаження на водоочисне обладнання протягом всієї доби. Тому вивчення питання

ефективності роботи системи споруд «біореактор – фільтр» в цих умовах є актуальним.

**Мета та завдання.** Вивчення ефективності та надійності роботи технологічного обладнання, призначеного для очищення багатокомпонентних підземних вод в умовах нерівномірності питомого гідравлічного навантаження протягом доби.

**Виклад основного матеріалу.** В результаті проведених досліджень вивчали ефективність очищення води від сполук заліза, азоту амонійного, фенолів, розчинених легкоокиснюваних органічних сполук при коливанні значень питомих гідравлічних навантажень на очисні споруди протягом фільтроциклу. Дослідження проводили на станції біологічного знезалізнення в Рівненській області. До складу технологічної схеми (рис. 1) входили: біореактор, три гравітаційних пінополістирольних фільтри, електролізна установка «Полум'я-2», насос-дозатор гіпохлориту натрію, РЧВ, насоси другого підйому, блок стабілізаційної обробки води.

Після біореактора вода надходила з швидкістю 5...8 м/год на фільтри ФПЗ-1, забезпечуючи очищення від зависі гідроксиду заліза та частинок матриксів залізобактерій. В якості фільтруючого завантаження використовували гранульований пінополістирол марки ПСВ або ПСВ-С за ОСТ 202-05-92 і ОСТ 301-05-92Е. Верхній розподільчий шар прийнято товщиною 200 мм з діаметром гранул 4...8 мм. Діаметр гранул робочого шару складав 1,0...2,5 мм, а його робоча висота 1000 мм. Фільтри було обладнано системою гідравтоматичної промивки на базі сифонів конструкції «труба в трубі».

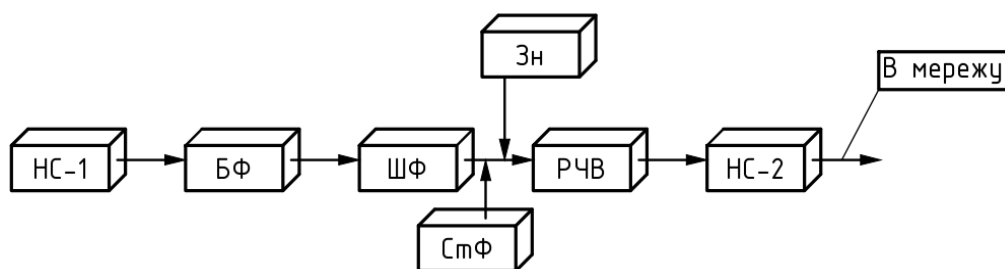


Рис. 1. Технологічна блок-схема очистки підземних вод:

НС-1 – свердловина із зануреним насосом 1-го підйому;  
БФ – біореактор; ШФ – освітлювальний пінополістирольний фільтр;  
СтФ – блок стабілізаційної обробки фільтрату; Зн – вузол знезараження води гіпохлоритом натрію; РЧВ – резервуар чистої води; НС-2 – насосна станція 2-го підйому

В 2012 – 2014 роках, за ініціативою та силами співробітників місцевого водоканалу, було впроваджено енергозберігаючу систему подачі води. Це призвело до практично безперервної роботи станції, в умовах деякої нерівномірності гідравлічного навантаження на водоочисне обладнання. В

результаті чого з'явилася можливість дослідження його роботи в нових режимах експлуатації.

У листопаді 2016 року були проведені дослідження щодо визначення ефективності роботи даної системи. Параметри якості вихідної води становили:  $\text{Fe}^{2+}$  1,7...1,9 мг/дм<sup>3</sup>, бікарбонатна лужність 3,96 ммоль/дм<sup>3</sup>, рН 6,9...7,2; перманганатна окисність 3,6...4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, концентрація азоту амонійного 0,5...0,65 мг/дм<sup>3</sup>, фенолів 0,025...0,028 мг/дм<sup>3</sup>.

Фільтроцикл проводили з 12.11.16 по 13.11.16 року при змінних витратах води, від 13 до 40 м<sup>3</sup>/год, та швидкостях фільтрування: в біореакторі – від 2,5 до 8 м/год, фільтрах – від 1,5 до 3,5 м/год (рис. 2). Фільтри промивали раз на дві доби. При цьому в нижній – осадовій частині біореактора та у підфільтровому просторі пінополістирольного завантаження відбувалося поступове накопичення завислого шару осаду з продуктів метаболізму залізобактерій у вигляді біоінералів *bio-FeOОН*. В результаті промивок цей осад видаляється за межі апаратів. Результати досліджень свідчать про стабільну роботу системи «біореактор – фільтр» протягом всього терміну фільтроциклу у 48 годин, незважаючи на зміну витрат вихідної води та швидкостей фільтрування.

Ефективність видалення легкоокиснюваних органічних сполук та заліза становили, відповідно, від 62 до 79% та від 87% до 98% (рис. 2).

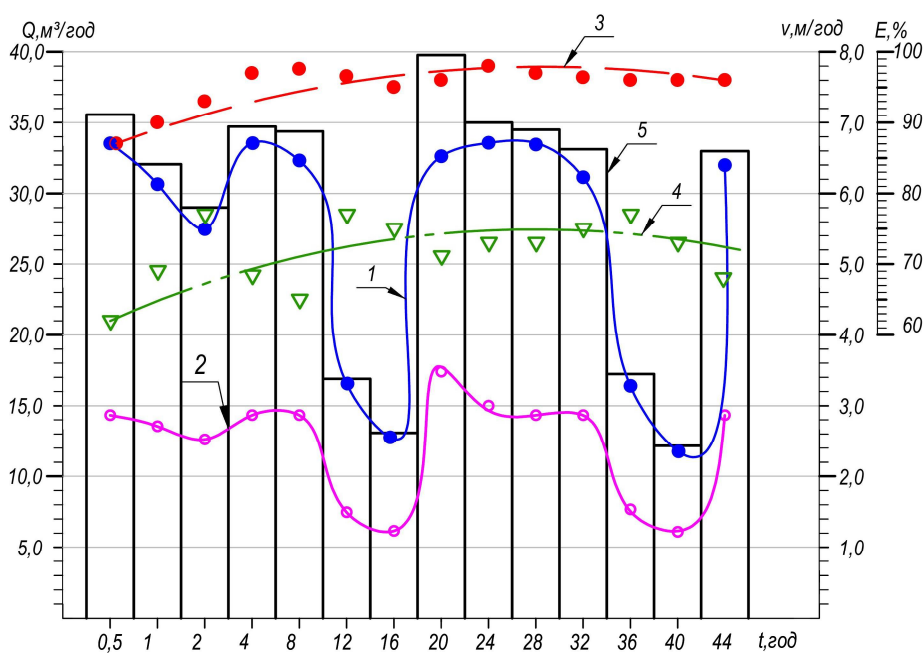


Рис. 2. Зміна погодинних витрат, швидкостей фільтрування та ефективності знезалізнення протягом фільтроциклу: 1 – швидкість в біореакторі; 2 – швидкість на фільтрах; 3 – ефективність знезалізнення після фільтрів; 4 - ефективність видалення органічних речовин за ПО після фільтрів; 5 – погодинні витрати води

Крім того, вже через годину після початку фільтроциклу з води було повністю видалено такі складні для очищення сполуки як азот амонійний та феноли (рис. 3). Величини бікарбонатної лужності практично не змінювалися і знаходилися в межах 3,84...4,0 ммоль/дм<sup>3</sup>. Використання двоступеневої схеми з одним біореактором на декілька освітлювальних фільтрів дозволяє знизити навантаження на останні, збільшивши тривалість фільтроциклів до 48 годин.

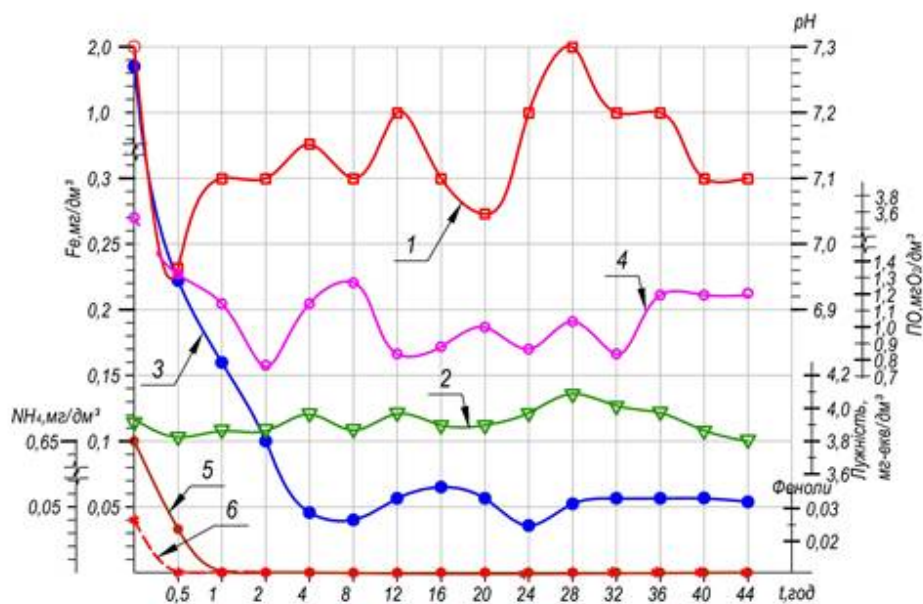


Рис. 3. Зміна параметрів якості очищеної води впродовж фільтроциклу: 1 – величини pH; 2 – бікарбонатної лужності; 3 – сполук заліза; 4 – перманганатної окисності; 5 – азоту амонійного; 6 – фенолів

Зростання тривалості фільтроциклу при біохімічному методі пояснюється утворенням в міжпоровому просторі контактного та фільтруючих завантажень осаду із матриксів залізобактерій, який завдяки своїй структурі [4 – 7] здатний до малого приросту втрат напору. Промивка фільтрів відбувалася як в гідроавтоматичному, так і ручному режимах. Проведені порівняльні дослідження щодо визначення ефективності та тривалості промивок фільтрів в один та два ступені.

На рис. 4 наведено характерні криві виносу осаду гідроокису заліза із промивною водою, а на рис. 5 – фотографії проб промивної води, відібраної через відповідні проміжки часу від початку промивки фільтрів.

Із наведених результатів видно, що в перші 10 секунд від початку I-го ступеня спостерігали найвищу інтенсивність промивки (рис. 4, крива 1). В результаті чого відбувався процес зрушення відкладень матриксних структур із міжпорового простору. При подальшій промивці інтенсивність її знижувалася до 30 дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>), а концентрація заліза, яке вимивалося із завантаження, досягала свого піку. В наступні 90 секунд інтенсивність

промивки була сталою, а концентрація заліза, яке вимивалося із міжпорового простору, поступово зменшувалася. При досягненні розрахункового рівня води у надфільтровому просторі, I ступінь промивки закінчувалася. Засувка на скидному трубопроводі закривалася та починався набір фільтрату до промивного баку, після наповнення якого промивка поновлювалася (рис. 4, крива 2). Величини інтенсивностей II-го ступеня промивки були аналогічними інтенсивностям першого ступеня, але кількість заліза у промивній воді була значно меншою, про що свідчать фото, представлені на рис. 5.

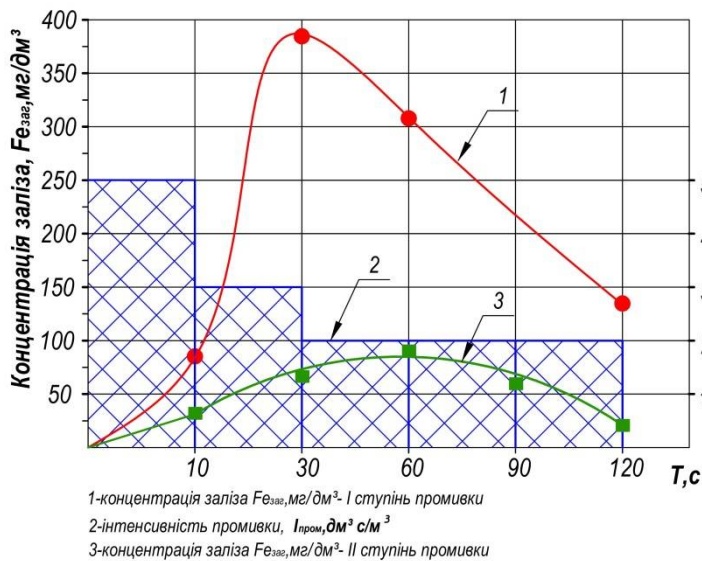
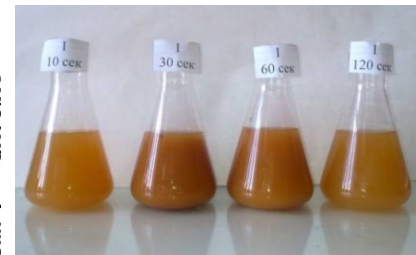
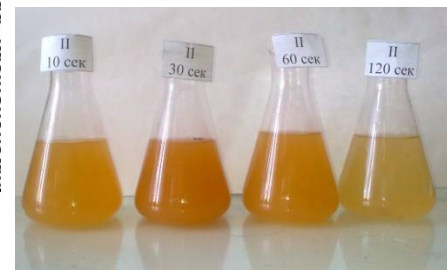


Рис. 4. Кінетика виносу забруднень при двоступеневій промивці: 1 – концентрація заліза I ступеня промивки; 2 – зміна інтенсивності промивки; 3 – концентрація заліза II – ступеня промивки



а



б

Рис. 5. Проби промивної води після фільтра в різні проміжки часу:  
 а – I ступеня промивки;  
 б – II ступеня промивки

Запропонована та апробована протягом восьми років експлуатації технологія дозволяє проводити очищення та кондиціонування природних агресивних, біля нейтральних вод із нормальним лужним резервом від сполук заліза (до  $8,0 мг/дм^3$ ), азоту амонійного (до  $1,0 мг/дм^3$ ), розчинених органічних речовин (за ПО до  $6,0 мгO_2/дм^3$ ), фенолів (до  $0,03 мг/дм^3$ ) із одночасною стабілізаційною обробкою фільтрату (дозою освітленого розчину  $Ca(OH)_2$   $8...16 мг/дм^3$ ). Технологію захищено патентом України на винахід.

**Висновки.** В результаті застосування біохімічного методу знезалізнення в міжпоровому просторі контактного та фільтруючих завантажень утворювався осад із матриксів залізобактерій, який завдяки своїй структурі був здатним до малого приросту втрат напору, що призводило до збільшення тривалості фільтроциклу. Система «біореактор – фільтр» дозволяла отримувати стабільний ефект очищення води при зміні

гідравлічного навантаження на водоочисне обладнання впродовж фільтроциклу.

### Список літератури

1. Букреева В.Ю. Сорбция коллоидных соединений оксидов железа и марганца с помощью железобактерий на песчаных загрузках очистных сооружений водоподъемных станций / В.Ю. Букреева, М.Ю. Грабович, А.Т. Епринцев, Г.А. Дубинина // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т. 9. Вып. 4. С. 506–514.

2. Букреева В.Ю. Экологическая роль железобактериальных биообрастаний в повышении эффективности песчаных фильтров очистных сооружений водоподъемной станций (на примере г. Воронежа). Автореферат дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук. Воронеж, 2011. Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «ВГУ».

3. Zhurba M.G. Studies and experience of introducing innovative technologies of ground water conditioning / M.G.Zhurba, O.B. Govorov Zh.M. Govorova., A.N.Kvartenko // Vodostabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika. 2014, no. 9. pp. 38-49.

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

5. Mouchet P. Biological Filtration for Iron and Manganese Removal: Some Case Studies// WQTC 95 (AWWA) New Orleans LA Nov. 1995. p . 12-16.

6. Du Toit G. Biological filtration for sustainable treatment of groundwater with high iron content - a case study // G. du Toit, H. Blignaut, B. Theunissen, J. Briggs// Water SA. 2014.

7. Sharma, S.K. Biological iron removal from groundwater/ S.K. Sharma, B. Petrusevski, J.C. Schippers// Water Supply. 2005, no. 54(4): p. 239-247.

*Стаття надійшла до редакції 8.12.17*