

УДК 628.16

С.Ю. МАРТИНОВ, кандидат технічних наук

С.О. КУНИЦЬКИЙ, кандидат технічних наук

А.М. ОРЛОВА, кандидат технічних наук

Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне

ВПРОВАДЖЕННЯ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ КОМІРКОВОГО ТИПУ ПРИ КОНТАКТНОМУ ЗНЕЗАЛІЗНЕННІ ВОДИ

Наведено результати впровадження безнапірних пінополістирольних фільтрів з висхідним фільтруванням при контактному знезалізненні води. Описано конструктивні особливості, принцип роботи пінополістирольного фільтру коміркового типу та представлено результати його роботи при реконструкції станції знезалізнення вод.

Ключові слова: контактне знезалізнення, аерація, фільтрування, пінополістирол, фільтри коміркового типу.

Приведены результаты внедрения безнапорных пенополистирольных фильтров с восходящим фильтрованием при контактном обезжелезивании воды. Описаны конструктивные особенности, принцип работы пенополистирольного фильтра ячеистого типа и представлены результаты его работы при реконструкции станции обезжелезивания воды.

Ключевые слова: контактное обезжелезивание, аэрация, фильтрация, пенополистирол, фильтры ячеистого типа.

The results of implementing the free-flow polystyrene foam filters with upward filtration at contact deferrization of water are shown. We describe the constructive features, the principle of work the polystyrene foam filters of cellular type and presents the results of its work at the reconstruction of water deferrization station.

Key words: contact deferrization, aeration, filtration, polystyrene foam, cellular-type filters.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, близько 90% людських хвороб спричинені вживанням неякісної води. Вживання такої води погіршує самопочуття та працездатність людини, викликає та ускладнює багато захворювань. Тому, проблема забезпечення населення доброякісною водою повинна бути одним з головних пріоритетів кожної країни [6,56].

Як правило, підземні води північно-західного регіону України характеризуються підвищеною концентрацією загального заліза, яка, здебільшого, не перевищує 2...3 мг/дм³. Незважаючи на велику кількість методів знезалізнення води [3,23;4,9], найбільшого поширення та, в першу чергу, рекомендуються аераційні методи [1,120;9,404], що пов'язано з їх відносною дешевизною [7,6].

Для знезалізнення підземної води використовуються різні типи фільтрувальних завантажень [5,8;8,133]. Від вибраного типу завантаження, як правило, залежить конструкція фільтрувального та допоміжного обладнання. Використання «важких» завантажень вимагає додаткового обладнання для організації промивання. Разом з тим, крупногранульне завантаження, таке як гранітний щебінь, вимагає досить великих витрат повітря та промивної води. І тому, експлуатація таких фільтрів ускладнена. Використання цеолітового завантаження дозволяє отримувати фільтрат високої якості та достатньо ефективно проводити промивання. Проте, цеоліт досить швидко стирається і вимивається при промиванні, що вимагає його періодичного дозавантаження.

Пінополістирольне завантаження достатньо ефективно знезалізнює воду. При цьому, ефективне промивання завантаження виконується найпростішим способом. Дослідженнями пінополістирольних фільтрів займаються багато вітчизняних та зарубіжних вчених. Останнім часом значні дослідження по знезалізненню води на пінополістирольних фільтрах проведені науковою школою, заснованою проф. Орловим В.О. [4;5].

В якості завантаження можна використовувати пінополістирол спінений водою на місці розміщення фільтрувальних споруд або промислового виготовлення. Використання пінополістиролу, спіненого водою, обмежується складністю його отримання в великих кількостях. Тому, економічно доцільно використовувати пінополістирол промислового виробництва [5,16] з підвищеним гранулометричним складом.

При невеликій концентрації гідрокарбонатного заліза, достатній лужності води та водневому показнику доцільно застосовувати контактне знезалізнення, коли підземна вода після аераційно-дегазаційної обробки зразу надходить в зернисті фільтри, де відбувається її знезалізнення.

Схема контактного знезалізнення води з безнапірними пінополістирольними фільтрами підвищеної крупності гранул нами впроваджена при реконструкції станції знезалізнення води смт Гоща. Якість підземної води характеризується наступними показниками: концентрація загального заліза – 0,86...2,55 мг/дм³, запах – 3...5 балів (сірководневий), аміак – 0,37...0,96 мг/дм³, водневий показник – 6,96...7,1 од., лужність 6,2...6,9 моль/м³, жорсткість загальна – 6,5...6,9 моль/м³, нітрати – менше 0,1 мг/дм³, марганець – 0,03...0,1 мг/дм³, вільна вуглекислота – 52...78 мг/дм³. Тобто, підземна вода не відповідає вимогам до питної водопровідної води [2, дод.2] за концентраціями загального заліза та запахом, інколи спостерігається підвищений вміст марганцю та амонію.

До реконструкції у фільтрувальній залі на майданчику станції знезалізнення води було встановлено: РЧВ, насоси підкачування води в мережу, вузол знезараження води та один непрацюючий фільтр Ø2,5 м.

Враховуючи вільну площу, наявні матеріали та можливості замовника, було запроектовано та змонтовано чотири пінополістирольні фільтри з висхідним фільтруванням (Ø1400 мм – 3 шт, Ø1200 мм – 1 шт). Для видалення розчинених газів встановлений один повітревідділювач Ø600 мм з аератором у вигляді струменевідбивної чаші. Фільтри були завантажені пінополістиролом промислового виробництва з підвищеною крупністю гранул. На основі проведених нами досліджень по знезалізненню води на пінополістирольних фільтрах з підвищеною крупністю гранул, прийнята розрахункова швидкість фільтрування 7 м/год, добова продуктивність фільтрів становить 840 м³/добу.

Всі фільтри працювали з різною швидкістю фільтрування 4...7 м/год. В процесі експлуатації встановлено, що при добовій продуктивності фільтрів не більше розрахункової, концентрація заліза у фільтраті складає менше 0,2 мг/дм³ і запах сірководню відсутній. Причому, якість фільтрату змінювалася залежно від швидкості фільтрування і концентрації заліза у підземній воді (табл. 1).

Таблиця 1

**Якість знезалізнення води на фільтрах (I-ша черга реконструкції)
при різних швидкостях фільтрування**

Найменування показника		Фільтр			
		№1	№2	№3	№4
Швидкість фільтрування, м/год		7,0	5,1	6,0	7,0
Концентрація заліза, мг/дм ³	у фільтраті	0,03	0,02	0,03	0,04
	у підземній воді	1,28			

Покращення якості води призвело до поступового збільшення абонентів та кількості реалізованої води. Крім того, виникали періоди (аварії на мережі, святкові та вихідні дні, поливальний період), коли на фільтри надходили підвищені витрати води (рис. 1) і вони працювали зі швидкостями 8...12 м/год. При цьому, якість фільтрату погіршувалась (табл. 2) і не завжди відповідала вимогам [2, дод.2].

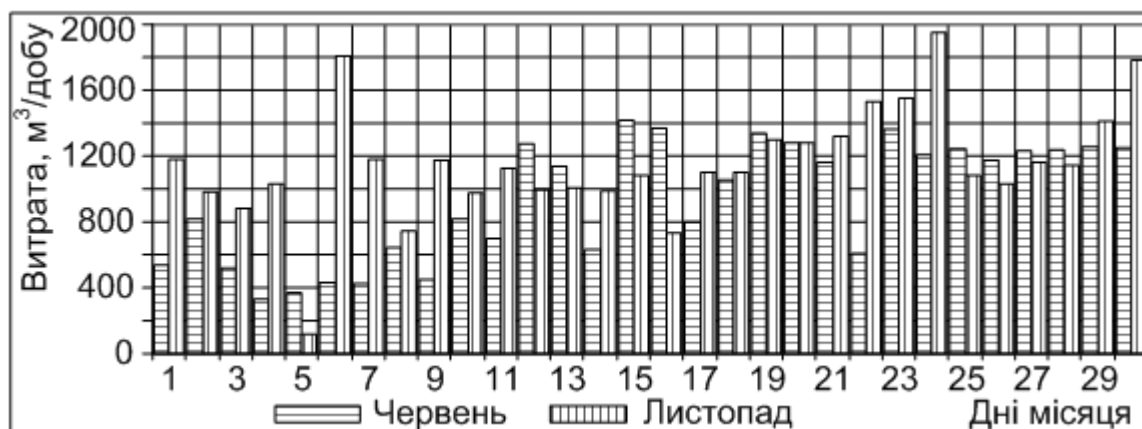


Рис.1. Добові подачі води у водопровідну мережу селища

Таблиця 2

Концентрація заліза у воді

Місце відбору проби	вхідна вода	Фільтрат фільтра			
		№1	№2	№3	№4
Концентрація заліза, мг/дм ³	1,48	0,15	0,39	0,30	0,32

Тому виникла потреба в реконструкції недіючого фільтра Ø2,5 м (II-га черга реконструкції). Фільтр складався з двох частин: верхньої Ø2,5 м та нижньої Ø2,7 м, розділених сталеву перфоровану плитою. В нижній частині фільтра розміщувався пінополістирол. Для запобігання виносу гранул завантаження на перфоровану плиту було насипано шар щебеню. Фільтрування води передбачалося низхідним потоком із забором фільтрату через ковпачкову середню дренажну систему. Для рівномірного розподілу промивної води нижня частина фільтра також була обладнана сталеву перфоровану плитою, нижче якої підключений трубопровід відведення промивної води.

При візуальному огляді фільтра було виявлено значне заростання сполуками заліза отворів у верхній плиті, часткову кольматію щілин пластмасових ковпачків та незначне заростання щілин в нижній плиті. Фільтр промивався вхідною (неочищеною) водою, що погіршувало режим промивання та потребувало скиду перших порцій фільтрованої води в каналізацію, оскільки концентрація заліза в них наближається до концентрації заліза у вхідній воді (перший фільтрат йшов незадовільної якості впродовж півгодини, а іноді і більше). Недостатність інтенсивності та тривалості промивання призвело до поступової кольматіції завантаження (утворення

окремих грудочок з закольматованих гранул).

Враховуючи позитивний досвід працюючих чотирьох фільтрів, для збільшення продуктивності станції було запропоновано переобладнати фільтр Ø2,5 м з низхідним фільтраційним потоком на фільтр з висхідним, а аерацію води проводити перед додатково встановленим повітревідділювачем.

Розглядалося декілька схем реконструкції фільтра. Кожен варіантів передбачає заміну верхньої та нижньої розподільної систем. Оскільки надфільтрового об'єму фільтру недостатньо для забезпечення одного промивання фільтра, може передбачатися:

- трубопровід подачі питної води від напірного трубопроводу насосів другого підняття в надфільтровий простір;
- трубопровід подачі підземної води в надфільтровий простір;
- максимальне наповнення надфільтрового простору знезалізненою водою за рахунок поступового зменшення подачі води на фільтр.

При необхідності забезпечення більшої інтенсивності та тривалості промивання, можна проводити декілька послідовних промивань фільтра.

Для зменшення об'єму води на одне промивання запропоновано розділити підрешіткову частину фільтра на чотири самостійні комірки (фільтри) з окремими промивними трубопроводами та трубопроводами аерованої води і спільним надфільтровим простором – **пінополістирольні фільтри коміркового типу** (рис. 2). Такий розподіл нижньої частини фільтра дозволив зменшити об'єм води на промивання одного фільтра в чотири рази і відмовитися від додаткової підкачки води у надфільтровий простір.

Знезалізнення води на пінополістирольних фільтрах коміркового типу відбувається наступним чином (рис. 2).

Підземна вода по трубопроводу 1 потрапляє в аератор, де відбувається її насичення киснем повітря та видалення розчинених газів (сірководень, вуглекислота), що сприяє підвищенню окислювально-відновного потенціалу та водневого показника води. Далі аерована вода потрапляє в повітревідділювач 2, де відбувається видалення розчинених газів та у підфільтровий простір чотирьох фільтрів, які розділені перегородками 5. Проходячи висхідним потоком пінополістирольне завантаження 7, що утримується в притопленому стані спеціальною конструкцією 8, вода очищається від заліза та збирається в надфільтровому просторі фільтрів 9. Звідси самопливом відводиться по трубопроводу 10 споживачам. Фільтри промиваються по чергово знезалізненою водою з об'єднаного надфільтрового простору шляхом відкриття засувки на відповідних промивних трубопроводах 11. Для запобігання виносу завантаження, в кінці промивання влаштований гідрозатвор 12 з трубою зриву вакууму 13.

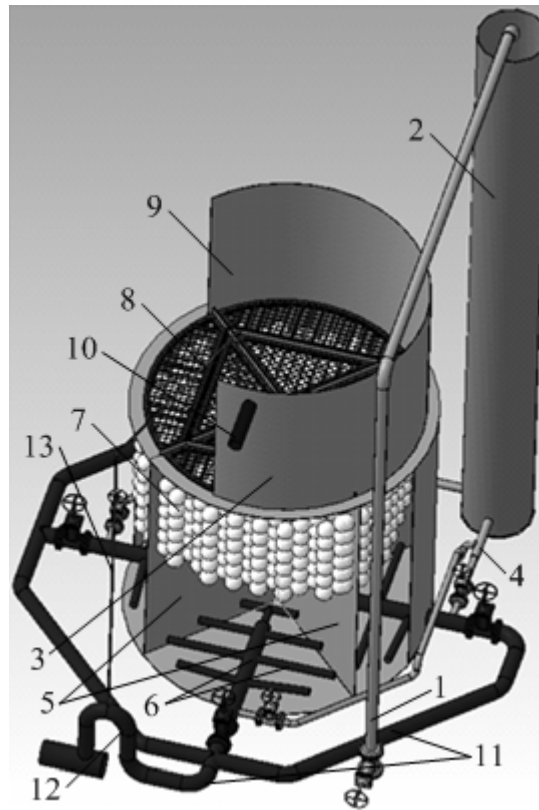


Рис. 2. Схема пінополістирольного фільтру комірковий типу:
1 – трубопровід подавання підземної води; **2** – повітревідділювач; **3** – корпус фільтра; **4** – трубопровід аерованої води; **5** – перегородки; **6** – нижня дренажна розподільна система; **7** – пінополістирольне завантаження; **8** – утримуюча конструкція; **9** – надфільтровий простір; **10** – трубопровід відведення знезалізненої води; **11** – промивний трубопровід; **12** – промивний гідрозатвор; **13** – трубка зриву вакууму

Розрахункова площа фільтрування кожного фільтра становила 1,22 м². При швидкості фільтрування 7 м/год, кожен фільтр забезпечить очищення води витратою 8,5 м³/год, а всі чотири – 34,0 м³/год. Запроектовано трубчасту нижню дренажну систему (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Реконструкція пінополістирольного фільтру комірковий типу:
а) нижня дренажна система; **б)** перегородки, що розділяють підфільтровий простір на окремі комірки (фільтри)

Верхня утримуюча конструкція влаштовується окремо для кожного фільтра та складається з двох секцій. Загальний вигляд на фільтри I-ї та II-ї черги реконструкції наведено на рис. 4.



Рис. 4. – Загальний вигляд на фільтри:

1, 4 – повітрівідділювачі I-ї та II-ї черг реконструкції; 2, 3 – фільтри $\varnothing 1,4$ м та $\varnothing 1,2$ м;
5 – реконструйований фільтр коміркового типу $\varnothing 2,5$ м; 6 – РЧВ

Нами були проведені дослідження роботи пінополістирольних фільтрів двох черг реконструкції. Переносним витратоміром заміряні витрати води на кожному фільтрі. Фільтри II-ї черги працювали з витратами $4,2 \dots 5,6$ м³/год, що відповідає загальній витраті $21,0$ м³/год. Чотири фільтри I-ї черги працюють з витратами, що коливалися в значно більшим межах – $2,0 \dots 11,0$ м³/год (найменшу витрату мав фільтр №2, а найбільшу – №4), що відповідає загальній витраті 27 м³/год (рис. 5). Значна різниця в швидкостях фільтрування на фільтрах I-ї черги пов'язана з різними опорами трубопроводів, що подають аеровану воду на кожен фільтр та складністю точного регулювання ступеню відкриття арматури. Для фільтра коміркового типу це зробити простіше, оскільки опори трубопроводів, що подають аеровану воду приблизно однакові та встановлені поворотні затвори одного типу.

Фільтри II-ї черги промивають по чергово один раз на дві доби. Кінетика вимивання забруднень з першої комірки (фільтра) наведено на рис. 6. Інтенсивність промивання коливається в межах $14,6 \dots 10,8$ л/(с·м²), середня – $13,2$ л/(с·м²). Даної інтенсивності достатньо для ефективного промивання завантаження, про що свідчить один достатньо виразний пік на графіку кінетики вимивання забруднень. Потрібна тривалість промивання становить близько 5 хв. Підвищена тривалість промивання фільтра пов'язана з конструктивними його особливостями – більшою висотою підфільтрового простору.

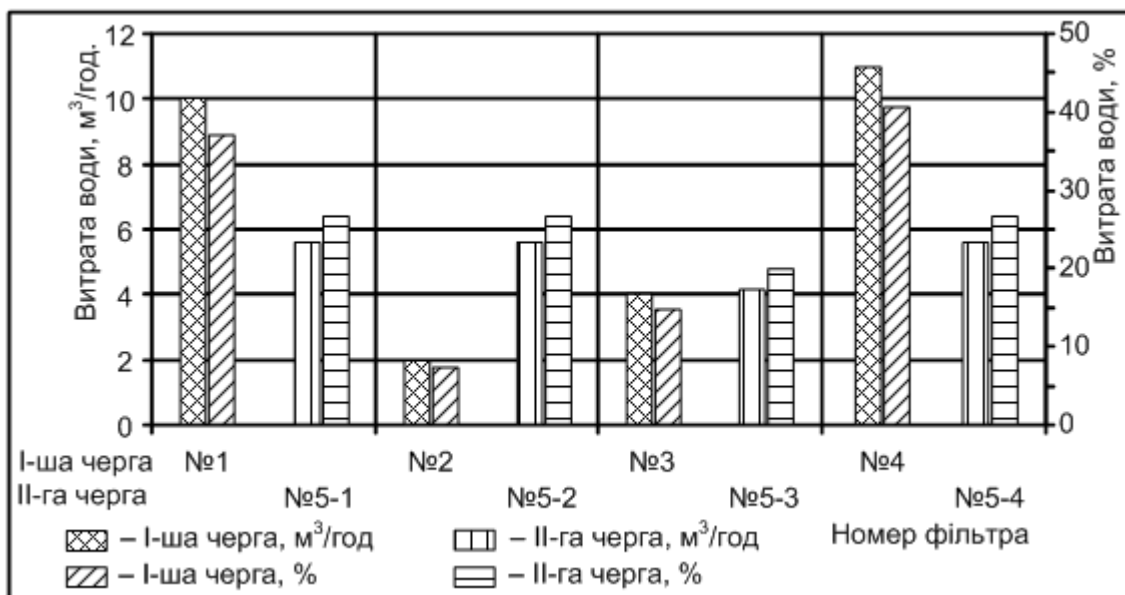


Рис. 5. Розподіл витрат води між фільтрами I-ї та II-ї черг реконструкції

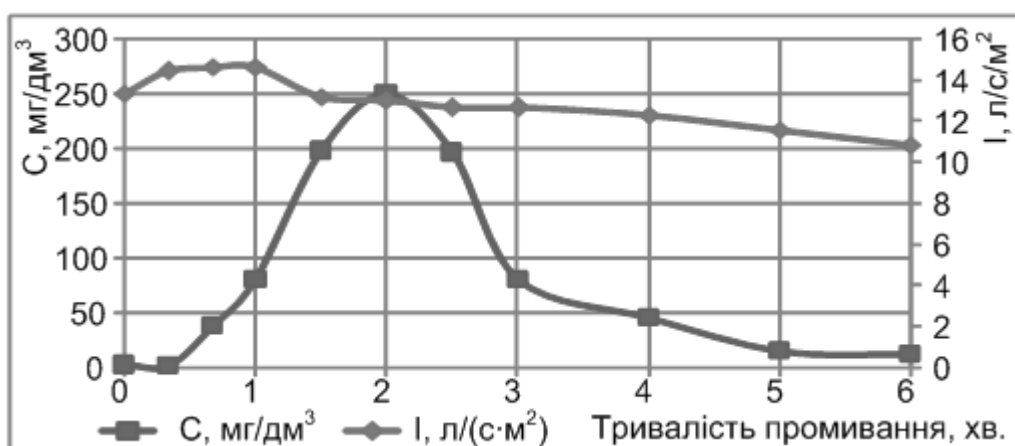


Рис. 6. Кінетика вимивання забруднень із завантаження

При проведенні досліджень помічено, що працюючі насоси другого підняття, розміщені у фільтрувальному залі, викликають значну вібрацію у фільтрі Ø2,5 м, що повинно погіршувати ефективність його роботи. При таких умовах фільтрування були відібрані проби води та визначені концентрації заліза у вхідній воді та фільтраті перед промивання та через 0,5 год після закінчення промивання першого фільтра (комірки) – табл. 3.

Таблиця 3

Ефективність знезалізнення води на реконструйованому фільтрі коміркового типу Ø2,5 м

Місце відбору проби	[Fe] ^{3АГ} , мг/дм ³	[Fe] ²⁺ , мг/дм ³
Вхід (підземна вода)	1,03	0,99
Фільтрат (до промивання)	0,03	0,01
Фільтрат (після промивання)	0,11	0,05

При концентрації заліза у вхідній воді 1,03 мг/дм³, концентрація заліза у фільтраті чотирьох фільтрів II-ї черги становить 0,03...0,11 мг/дм³, що повністю задовольняє діючі норми на питну воду. Співвідношення форм заліза у фільтраті ($[\text{Fe}]^{2+}/[\text{Fe}]^{3\text{AG}}$) близьке до 45%.

Отже, проведена реконструкція станції знезалізнення смт Гоща дозволила забезпечити споживачів водою, очищеною від сполук заліза до вимог питної водопровідної води. Для контактного знезалізнення води успішно застосовуються безнапірні пінополістирольні фільтри з висхідним фільтруванням та підвищеною крупністю гранул завантаження. Для зменшення капітальних затрат на спорудження окремих фільтрів та при реконструкції фільтрів з недостатнім запасом промивної води, доцільно застосовувати пінополістирольні фільтри коміркового типу. Такі фільтри достатньо прості в експлуатації та забезпечують ефективне знезалізнення води.

Список літератури

1. *Водопостачання*. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-74:2013. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013.
2. *Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*: ДержСанПіН 2.2.4-171-10. Затверджено наказом МОЗУ 12.05.2010 № 400. Зареєстровано в МЮУ 1.07.2010 №452/17747.
3. *Николадзе Г. И.* Обезжелезивание природных и оборотных вод. М.: Стройиздат, 1978. 161 с.
4. *Orlov V.* Water defferrization in polystyrene foam filters with sediment layer. Saarbrucken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 94 с.
5. *Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах* : [монографія]. Рівне: НУВГП, 2012. 172 с.
6. *Поляков В. Л.* О фильтровании воды с высоким содержанием железа // *Доповіді Національної Академії наук України: Науково-теоретичний журнал*. 2015. № 1. С. 56-64.
7. *Станкявичус В. И.* Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок). Вильнюс: Мокслас, 1978. 120 с.
8. *Тугай А. М.* Продуктивність водозабірних свердловин в умовах кольматажу: [монографія]. Харків: ХНАМГ, 2004. 240 с.
9. *Хоружий П. Д.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання. К.: Аграрна думка, 2008. 269 с.

Надійшло до редакції 17.11.2016