

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВІНОСУ ГІДРОКСИДУ ЗАЛІЗА ІЗ ЗАСИПКИ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ

В.О. Орлов, С.Ю. Мартинов, С.О. Куницький, М.М. Меддур

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне  
e-mail: Orlov\_Valeriy@list.ru

*Наведені результати впровадження технологічних схем знезалізнення з пінополістирольними фільтрами. Вивчені процеси промивки пінополістирольної засипки в лабораторних і виробничих умовах. Показаний вплив на процес промивки різних типів нижніх розподільних систем, наведена кінетика вимивання забруднень із засипки та визначена тривалість промивки.*

*Ключові слова: знезалізнення, промивка фільтрів, пінополістирольні фільтри, розподільні системи, кінетика вимивання забруднень.*

### Вступ

Підземні води часто прозорі, не містять завислих часток, не мають забарвлення, але мають значний вміст заліза. Найчастіше для знезалізнення використовують безреагентний метод спрощеною аерацією та фільтруванням (контактне знезалізнення), оскільки він простіший, дешевший і може бути використаний для вод із концентрацією заліза до  $5 \text{ мг/дм}^3$  та рН більше 6,8. Метод полягає в тому, що в аераційному пристрої вода насичується киснем, залізо окислюється, а утворені пластівці гідроксиду заліза затримуються в фільтруючій засипці [1, 5, 6]. В якості фільтруючої засипки можна використовувати пісок, цеоліт, керамзит, різні типи шлаків, пінополістирол.

Необхідною умовою для здійснення процесу знезалізнення є наявність на поверхні зерен засипки активної плівки із сполук заліза, яка і стає каталізатором всього процесу. Поверхня зерен фільтруючих засипок має електричний заряд, напруженість поля якого на границі адсорбційного шару характеризується значенням електрокінетичного потенціалу. Знак та величина потенціалу, які залежать від рН середовища, впливають на сорбційну активність поверхні зерен [4] по відношенню до сорбованих часток, які знаходяться у воді. При фільтруванні підземної води на першому етапі відбувається адсорбція іонів закисного заліза на поверхні «чистих» зерен фільтруючої засипки. Через певний час проходить адсорбція окисного заліза і електрокінетичний потенціал зерен засипки знижується, відбувається затухання адсорбційних властивостей поверхні зерен. Згідно [3] водневий показник ізоелектричної точки гідрату окису заліза дорівнює 6,5, з підвищенням рН збільшується від'ємний потенціал гідроксиду заліза і збільшується сорбційна активність до закису заліза.

Достатня ступінь знезалізнення починається після формування на зернах засипки певної маси [7, 8] каталітичної плівки, час формування цієї маси називається *часом зарядки фільтра*  $t_{\text{зар}}$  (рис. 1), при якому якість фільтрату починає відповідати вимогам.

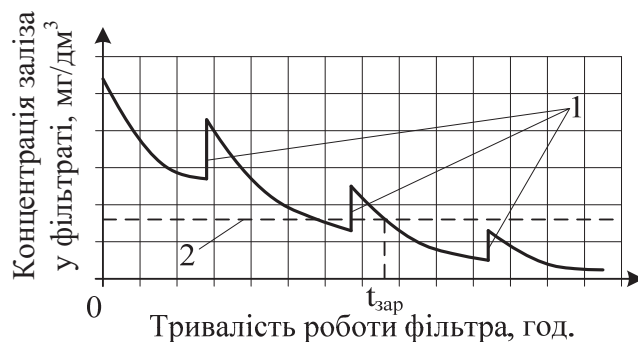


Рис. 1. Процес зарядки фільтра знезалізнення води:

1 - момент промивки фільтра; 2 - нормуюча концентрація [6].

За даними [2, 4] на поверхні зерен засипки «плівка» має від 8...30% двовалентного заліза та 70...90% тривалентного заліза. При наявності у воді сірководню та кремнієвої кислоти в

склад плівки може входити до 10% сульфідів заліза, вільної сірки, силікатів. Разом з тим, у воді є розчинений кисень, під дією якого адсорбовані іони закисного заліза окислюються і гідролізуються. Тобто, утворюється осад, який так само стає каталізатором процесу. В осаді знаходиться практично 100% тривалентного заліза. Після утворення «плівки», сорбція іонів двовалентного заліза протікає паралельно на вільній поверхні фільтруючої засипки і на поверхні осаду з гідроксиду заліза. Поглинаюча здатність фільтруючої засипки залежить від питомої поверхні, тобто чим дрібніші зерна та більший їх коефіцієнт форми зерна, тим більше буде сорбуватись двовалентне залізо. Осад, який утворюється, прискорює процес адсорбції і окислення двовалентного заліза. На процес окислення також впливають концентрація каталізатора (об'єм засипки і кількість накопиченого осаду), швидкість фільтрування, крупність зерен (вона може бути більшою, ніж в процесах прояснення води), вміст двовалентного заліза, тривалість накопичення осаду тощо.

При регенерації фільтруючої засипки – промивці фільтра, плівка не змивається і в подальших фільтроциклах служить як каталізатор, але затримані в процесі фільтрування нові порції гідроксиду заліза вимиваються промивним потоком. На ефективність та тривалість промивки впливають всі перелічені показники і ще додаються гідравлічні умови, тобто, потоки води створені розподільними системами фільтрів.

### **Фільтри з плаваючою засипкою**

В практику очищення води все більше впроваджуються фільтри з плаваючою пінополістирольною засипкою з висхідним фільтраційним потоком. Пінополістирольні фільтри являють собою ємність, у якій спеціальна решітка в притопленому стані утримує плаваючу пінополістирольну засипку. Пінополістирольна засипка виготовляється безпосередньо на водоочисній станції шляхом спучування товарного продукту полістиролу або виготовляється на підприємствах теплоізоляційних плит в спеціальних спінювальних пристроях. В конструктивному відношенні фільтри з плаваючою засипкою простіші фільтрів із важкою засипкою. При фільтруванні очищена вода збирається в надфільтровому просторі, а при промивці ця вода рухається до низу та відмиває засипку. Для цього достатньо закрити засувку подачі вхідної води та відкрити на необхідну величину промивну засувку. Над пінополістирольною засипкою, як правило, не влаштовується розподільна система, а її роль виконує утримуюча решітка. В нижній частині фільтра повинна бути розподільна система: трубчаста з круглими отворами, отвір або труба з отворами і додатковими нахиленими стінками, лише один отвір з виходом в трубу при невеликих розмірах фільтра. В схемах знезалізнення нижня система знаходиться в умовах інтенсивних залізистих відкладень і заростання. Тому, система повинна бути найпростішою і з максимально можливими впускними отворами.

### **Впровадження станцій знезалізнення**

За останні роки нами було впроваджено ряд станцій знезалізнення. На рис.2. наведена станція знезалізнення, яка вмонтована в металеву башту-колону, та станція знезалізнення води в с.м.т. Гоща. В обох станціях використана технологія контактного знезалізнення в пінополістирольній засипці. Вихідна вода через аератор подається в повітрявідділювач, із нижньої частини якого поступає в пінополістирольний фільтр. Далі вона проходить знизу вверх пінополістирольну засипку, де затримується гідроксид заліза, і знезалізненою збирається в надфільтровому просторі. Відрізняється робота установок тим, що в башту-колону вода подається певний короткий період часу, після якого є перерва в подачі води. В нижній частині башти-колони не передбачається ніякої розподільної системи, а є вільний простір під засипкою висотою 1,5...2 м і з нижньої частини виходить промивний трубопровід, відповідно, із засувкою в колодязі за межами башти. Діаметр стовбура башти-колони не менше 1,2 м, вода із повітрявідділювача вводиться під засипку. Таким чином, в нижній частині стовбура знаходиться мертвий об'єм, при фільтруванні в якому може осідати гідроксид заліза. На станції знезалізнення с.м.т. Гоща в нижній частині фільтра передбачено конус (рис.2), який повинен забезпечувати

рівномірний розподіл або збір води по площі. При цьому, не передбачено малих отворів для попередження заростання їх солями заліза. Діаметри фільтрів прийняті 1,2...1,4 м.

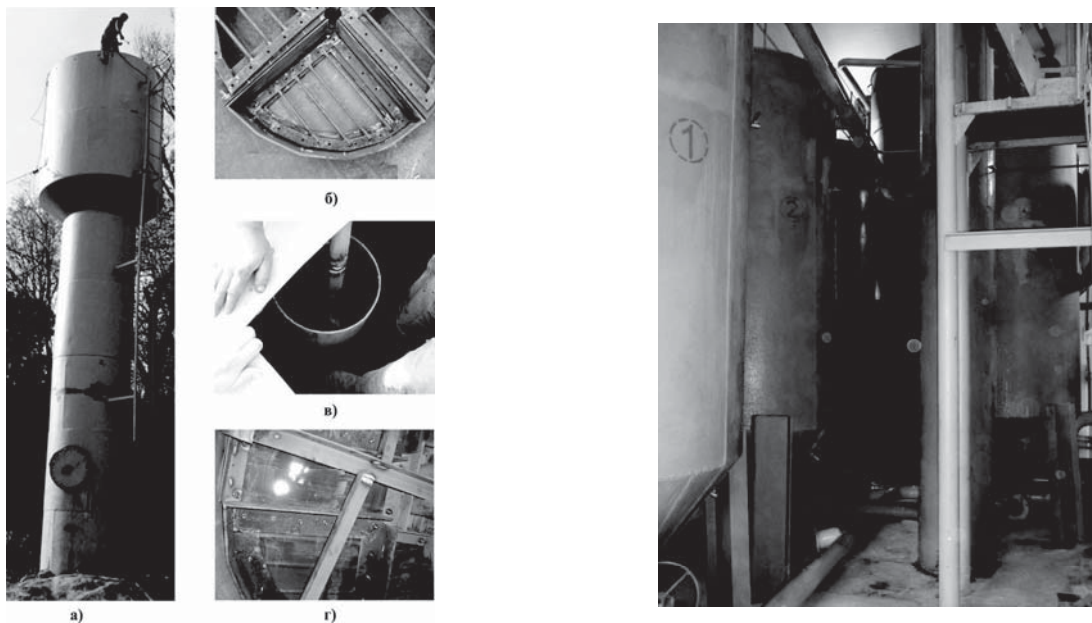


Рис. 2. Металева башта-колона в с. Бохоники (зліва) та загальний вид на фільтри станції знезалізнення с.м.т. Гоща (справа): а) загальний вигляд башти; б) заготовки утримуючої решітки; в) аератор та повітровідділювач; г) встановлена утримуюча решітка.

### Результати досліджень

Встановлено, що всі установки забезпечували достатню ступінь знезалізнення. Для прикладу в табл. 1 наведені показники якості підземної та фільтрованої води для башти-колони.

Таблиця 1. Ефективність роботи башти-колони

Дата відбору проб	Концентрація заліза, мг/дм <sup>3</sup>		рН	
	підземна вода	фільтрат	підземна вода	фільтрат
03.06.10	2,6	0,175		
13.09.10	1,93	0,09	7,4	7,45
20.09.10	2,05	0,1	7,3	7,35
23.09.10	2,2	0,08	7,35	7,45

Промивається засипка відразу після закінчення фільтроциклу, який проводився при швидкості фільтрування 6 м/год., тривалості подачі води 2,5 год., тривалості зупинок 1,0 год. Залежність концентрації заліза у промивній воді від тривалості промивки наведені в табл. 2 та рис. 3.

Таблиця 2. Промивка башти-колони (20.09.10)

Час від початку промивки, сек.	Висота води в резервуарі, м	Об'єм води в резервуарі, м <sup>3</sup>	Витрата води, л/с	ω, л/(с·м <sup>2</sup> )	Fe <sub>пром</sub> , мг/дм <sup>3</sup>
0	0,56	1,21	20,24	18	73,5
60	0,78	1,21	20,24	18	10,25
120	1,0	1,38	23	20	30,3
180	1,25	1,32	22,1	20	71
240	1,49	1,16	19,32	17	12,5
300	1,7	1,16	19,32	17	5,8
360	1,91				

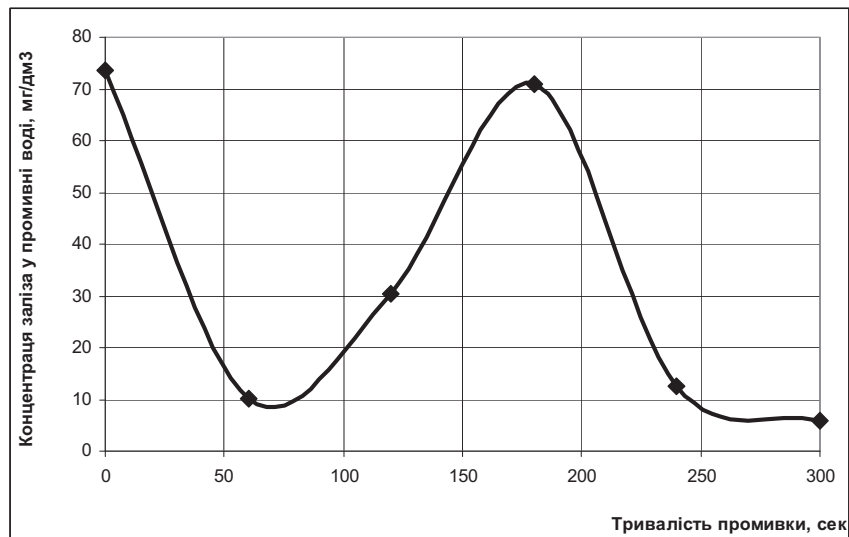


Рис. 3. Кінетика виносу забруднень з промивною водою з башти-колони.

На початку промивки відмітка рівня води складала 15 м відносно поверхні землі, а по її закінченню - 14 м. Загальна тривалість промивки склала 5 хв. Із графіка видно, що спочатку йде висока концентрація забруднень в промивній воді, далі вона поступово спадає, потім знову підвищується, а потім знову починає поступово спадати до кінця промивки. Тобто, на початку промивки в нижній частині накопичені забруднення саме у вказаному вище мертвому об'ємі, які вимиваються, а потім вже починають вимиватися забруднення із засипки.

Фільтри на станції знезалізнення с.м.т. Гоща працювали з різною тривалістю фільтрування та тривалістю фільтроциклу, після чого промивалися. На графіках (рис. 4) чітко видно підняття концентрації забруднень на початку фільтроциклу, потім спад, потім знову невелике підняття, і наприкінці промивки поступовий спад концентрації.

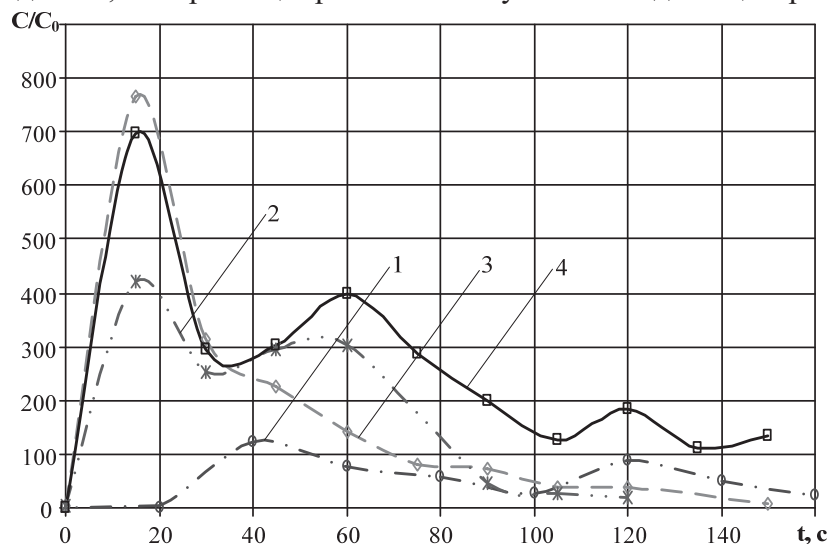


Рис. 4. Кінетика вимивання забруднень з засипки при промивці фільтрів:

$C$  – концентрація забруднень у промивній воді, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_0$  – концентрація забруднень у вхідній воді, мг/дм<sup>3</sup>; 1 –  $t_{\phi}=2$  доби,  $i=7,6$  л/(с·м<sup>2</sup>),  $v_{\phi}=7$  м/год.; 2 –  $t_{\phi}=3$  доби,  $i=11,4$  л/(с·м<sup>2</sup>),  $v_{\phi}=11$  м/год.; 3 –  $t_{\phi}=3$  доби,  $i=10,2$  л/(с·м<sup>2</sup>),  $v_{\phi}=7,7$  м/год.; 4 –  $t_{\phi}=4$  доби,  $i=17,5$  л/(с·м<sup>2</sup>),  $v_{\phi}=4,4$  м/год.

В лабораторних умовах при фільтруванні модельного розчину на колонці діаметром 150 мм (рис. 5) спочатку спостерігається вихід малоконцентрованої за забрудненням промивної води, потім різке підняття до максимальної концентрації і в кінці поступове спадання концентрації забруднень.

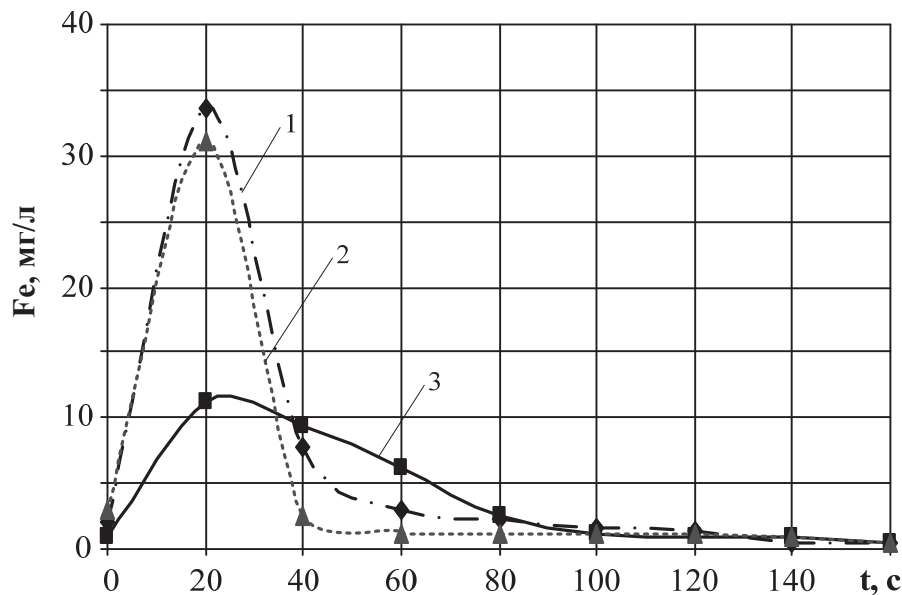


Рис.5. Кінетика вимивання забруднень в лабораторній установці при тривалості фільтрування 8 год., концентрації заліза у вхідній воді 1,5 мг/дм<sup>3</sup>:  
1 – при швидкості фільтрування  $v=8$  м/год.; 2 –  $v=7$  м/год.; 3 –  $v=6$  м/год.

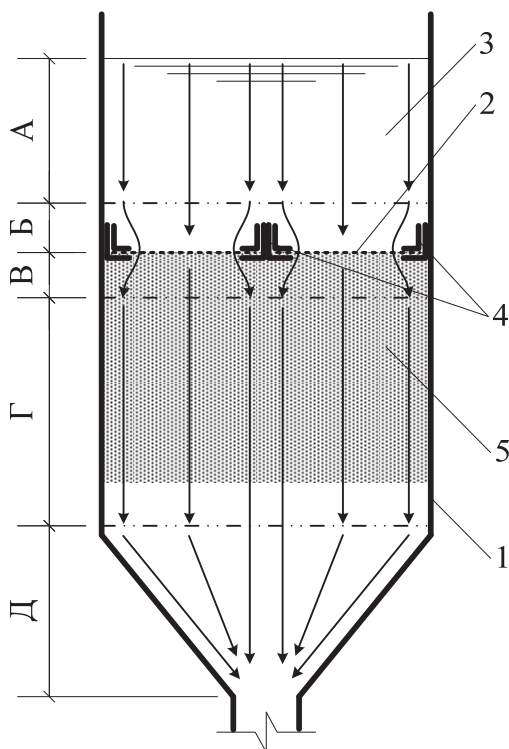


Рис. 6. Схема руху води при промивці фільтра:

1 – корпус фільтра; 2 – утримуюча сітка; 3 – надфільтровий простір; 4 – суцільні елементи каркасу решітки; 5 – пінополістирольна засипка;  $L_1$  – висота зони звуження потоків;  $L_2$  – висота розширення засипки при промивці;  $L_3$  – висота засипки при фільтруванні;  $L_4$  – висота надрешіткової зони;  $L_5$  – висота шару промивної води.

Графіки рис. 3 та рис. 5, в принципі, є стандартними для промивки засипки, а на рис. 4 вони відрізняються від стандартних [5, 6, 9]. Поясненням такої, не зовсім звичайної, кінетики виносу забруднень в фільтрах станції знезалізнення с.м.т. Гоща закладені в гідравлічних режимах. В фільтрах існують такі зони (рис. 6): А – зона підведення води; Б – надрешіткова зона; В – підрешіткова зона; Г – робоча зона; Д – зона звуження потоків. Зона підведення води забезпечує накопичення потрібного для промивки запасу води і рівні напори по всьому перерізу фільтра. Зони Б та В утворюються в залежності від конструктивних особливостей утримуючої решітки [9]. Зона Г повинна забезпечити достатній простір для розширення засипки. Остання зона Д безпосередньо пов'язана з конструкцією розподільної системи. На рис. 7 наведені відповідні втрати напору в різних елементах фільтра:  $h_1$  – втрати напору в решітці;  $h_2$  – втрати напору в засипці;  $h_3$  – втрати напору в конфузіві. Для забезпечення рівномірності промивки втрати напору на шляху потоків із одним і двома штрихами повинні бути рівними. Проте, реально вони не дорівнюють один одному, і тому на рис. 4 спостерігається така кінетика вимивання забруднень.

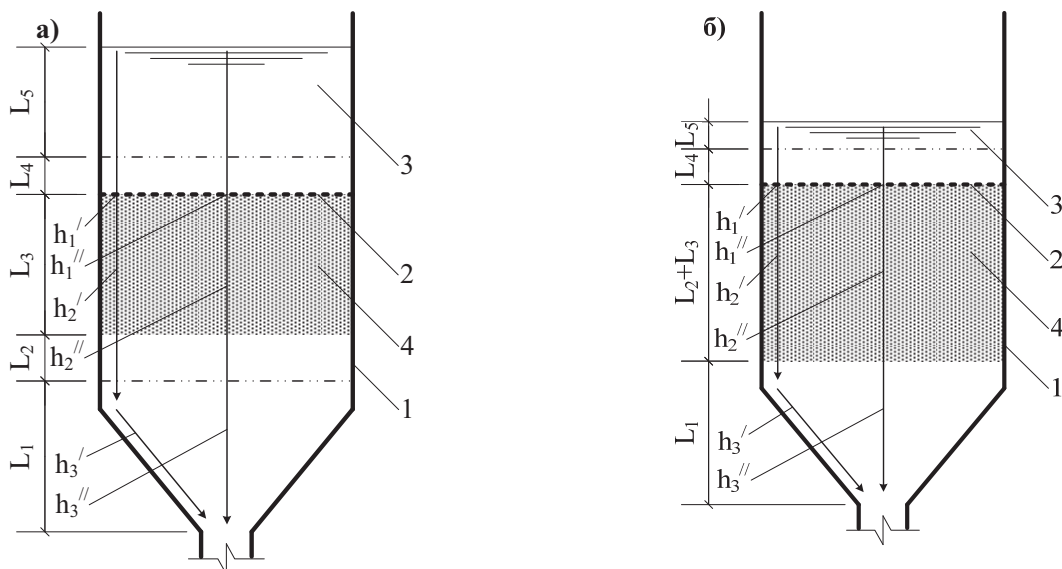


Рис. 7. Схема відведення води від пінополістирольного фільтра:

а) на початку промивки; б) в кінці промивки;

1 – корпус фільтра; 2 – утримуюча решітка; 3 – надфільтровий простір; 4 – пінополістирольна засипка.

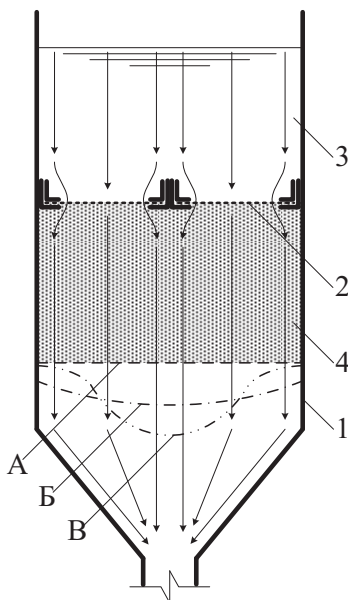


Рис. 8. Схема руху води та розширення засипки фільтра при промивці:

1 – корпус фільтра; 2 – утримуюча решітка;

3 – надфільтровий простір; 4 – пінополістирольна засипка; А – низ засипки при фільтруванні; Б – низ засипки при промивці з меншою інтенсивністю; В – низ засипки при промивці з більшою інтенсивністю.

При більших інтенсивностях промивки (поз. 2, 4, рис. 4) спостерігаються два чіткі піки концентрації забруднень у промивній воді. Це може бути пов'язано з тим, що промивка проходить в турбулентній області і формується центральне ядро, в якому інтенсивність промивки суттєво перевищує середню (рис. 8). Внаслідок цього, спочатку відбувається інтенсивне вимивання забруднень з центральної частини фільтра. Далі, внаслідок перемішування засипки, відбувається вимивання забруднень з периферії, про що і вказує другий пік забруднень. Абсолютні значення цих піків залежать від інтенсивності промивки, розподілу забруднень по висоті засипки, швидкості фільтрування, концентрації забруднень у вхідній воді, тривалості фільтрування і, відповідно, кількості накопичених забруднень. При зменшенні середньої інтенсивності еюра швидкостей більш рівномірна, ніж в попередньому випадку. Внаслідок цього, спостерігаються піки із значеннями, дуже наближеними один до одного (поз. 3).

## Висновки

Таким чином, в залежності від способу відведення промивної води або типу нижньої розподільної системи, буде змінюватись кінетика вимивання забруднень. На ефективність промивки впливають інтенсивність промивки і зв'язане з нею відносне розширення засипки,

кількість накопичених забруднень та їх щільність, конструкція нижньої розподільної системи, яка забезпечує певний гідравлічний режим промивки.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЫНОСА ГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА ИЗ ЗАГРУЗКИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ

**В.О. Орлов, С.Ю. Мартынов, С.А. Куницкий, М.М. Меддур**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

e-mail: Orlov\_Valeriy@list.ru

*Приведены результаты внедрения технологических схем обезжелезивания с пенополистирольными фильтрами. Изучены процессы промывки пенополистирольной загрузки в лабораторных и производственных условиях. Показано влияние на процесс промывки различных типов нижних распределительных систем, приведена кинетика вымывания загрязнений из загрузки и определена продолжительность промывки.*

*Ключевые слова: обезжелезивание, промывка фильтров, пенополистирольные фильтры, распределительные системы, кинетика вымывания загрязнений.*

## KINETICS STUDY OF IRON HYDROXIDE CARRY BY LOADING POLYSTYRENE FILTERS

**V. Orlov, S. Martynov, S. Kunitsky, M. Meddur**

National university of water management and nature resources use, Rivne

e-mail: Orlov\_Valeriy@list.ru

*The results of the implementation of technological schemes deferrization of polystyrene filters are presented. The processes of washing polystyrene filling in laboratory and production conditions are studied. Influence on the process of cleaning different types of lower distribution systems is presented. Shows the kinetics of leaching of contaminants from the load and determined the duration of flushing.*

*Keywords: deferrization, washing filters, polystyrene filters, distribution system, the kinetics of leaching of contaminants.*

### Список літератури:

1. Орлов В. О. Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням. - Рівне: НУВГП, 2008. — 158с.
2. Балашова Г. В. Исследование окислительно-восстановительного потенциала для характеристики обезжелезивания воды. — Научные труды АКХ. Водоснабжение, М. : АКХ, 1969. — №52. — С. 82 — 89.
3. Золотова Е. Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. — М. : Стройиздат, 1975. — 176 с.
4. Николадзе Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. — М. : Стройиздат, 1978. — 161с.
5. Орлов В. О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. — Рівне: НУВГП, 2005. — 163 с.
6. Орлов В. О. Интенсификация работы водоочисных сооружений / В. О. Орлов, Б. И. Шевчук. — К. : Будивельник, 1987. — 127 с.
7. Станкявичюс В. И. Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок). — Вильнюс: Мокслас, 1978. — 120 с.
8. Технические записки по проблемам воды: пер. с англ. / К. Барак и др. Под. ред. Т.А.Карюхиной, И.Н.Чубановой. — М. : Стройиздат, 1983. — 607 с.
9. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання. — К. : Знання, 2009. — 735 с.