

експлуатации установки УФ обеззараживания очищенных сточных вод лоткового типа, предназначенных для работы в широком диапазоне производительностей.

Ключевые слова: установка УФ обеззараживания очищенных стоков, водоотведение.

Ероуан S.M., Shalyapina T.S. UV INSTALLATIONS OF TRAY TYPE FOR SEWAGE DECONTAMINATION IN LOCALISED TREATMENT PLANTS. The current situation with the catastrophic impact of infectious diseases on human safety has made it a priority to develop inexpensive and effective systems for disinfecting household wastewater. To date, a large amount of wastewater, including waste water from sanatoriums, hotels, infectious hospitals and departments, has not been disinfected, resulting in the direct contamination of open water bodies and drinking water supplies with dangerous bacteria and viruses. The work involves the development of basic criteria for the selection of efficient and easy-to-

operate UV decontamination plants for purified effluent. In order to ensure effective disinfection of waste water, a special decontamination chamber has been developed, in which waste water is disinfected by means of a flat UV source in close to the laminar mode of water flow. Limit parameters of waste water are selected, at which high efficiency of decontamination is achieved. Criteria and algorithm of selection of type and model of UV plant for waste water decontamination are considered. Proposed criteria allow development and selection of plants for UV decontamination of waste water with capacity from 0.15 to 20 m³/h. The proposed technique allows to develop and select efficient and easy-to-operate units for UV decontamination of treated waste water of tray type intended for operation in a wide range of production capacities.

Key words: installation of UV decontamination of purified effluents, water disposal.

DOI: 10.29295/2311-7257-2020-100-2-230-237

УДК 628.16

Карагяур А.С., Ісакієва О.Г., Сорокіна В.Ю., Тітов А.А.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: ykg.knuca@ukr.net; orcid.org/0000-0002-8868-3189, orcid.org/0000-0003-2074-5811, orcid.org/0000-0002-9574-5253, orcid.org/0000-0001-9330-8829)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ШВИДКИХ ФІЛЬТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ РОБОТИ

Швидкі фільтри з зернистим завантаженням широко застосовують на станціях водопідготовки для доочищення води від тонкодисперсних колоїдних та завислих речовин після освітлення її у відстійниках або в освітлювачах з шаром завислого осаду. Високі експлуатаційні затрати, пов'язані з періодичною регенерацією зернистої засипки шляхом промивки, обумовлюють необхідність удосконалень, направлених на їх скорочення. Одним з таких шляхів є подовження часу роботи споруди між промивками. На тривалість роботи фільтру у режимі очистки впливають багато параметрів. Серед них – швидкість фільтрування, еквівалентний діаметр зерен та товщина шару завантаження. Дослідження ступеня впливу кожного з них та рекомендації з визначення їх раціональних величин є актуальними. Дослідження впливу конструктивних та технологічних параметрів швидкого фільтру з одношаровим завантаженням на тривалість фільтроциклу. Теоретичні дослідження на основі відомих залежностей теорії фільтрування Д.М. Мінца. Ці залежності пов'язують між собою час захисної дії та час досягнення втрат напору граничних значень з параметрами фільтрування. Отримано графічні залежності між параметрами фільтрувальної споруди та часом роботи у режимі фільтрування. Проаналізовано сукупний вплив цих параметрів на час захисної дії та час досягнення втрат напору граничних значень. Розроблено рекомендації щодо напрямів підвищення ефективності роботи швидкого фільтра з одношаровим зернистим завантаженням. У якості критерію ефективності прийнято час роботи фільтра між промивками. Описано умови, які обмежують рекомендовані удосконалення. Проведені дослідження дозволяють обґрунтовано рекомендувати для подовження роботи швидкого фільтра у режимі фільтрування одночасно збільшувати розмір зерен та товщину шару фільтруючої засипки.

Ключові слова: фільтрування, захисна дія, втрати напору, фільтруюче завантаження, еквівалентний діаметр, брудоемність

Вступ. Значна частина населених пунктів України забезпечується водою з поверхневих джерел. Для таких систем водопостачання найчастіше передбачається двоступенева схема підготовки, де на стадії доочищення застосовуються швидкі

фільтри із зернистим завантаженням. Затрати, пов'язані з необхідністю періодичної регенерації фільтруючої засипки, що колюматується в процесі фільтрування, складають значну частину в загальній вартості очищення. Для цієї операції

витрачається велика кількість промивної води питної якості, яка подається хоч і не тривалий час, але з інтенсивністю, що в декілька разів перевищує подачу в режимі очищення. Одним із напрямків скорочення об'ємів промивної води є збільшення фільтроциклу споруди, а саме тривалості її роботи в режимі фільтрування.

При очищенні води у фільтрах з однорідним завантаженням забруднення часто накопичуються в перших у напрямку фільтрування (верхніх) шарах. Втрати напору зростають та досягають граничних значень раніше, ніж відбувається погіршення якості відфільтрованої води. Фільтр необхідно відключати на промивку. При цьому брудоемність нижніх шарів залишається невичерпаною [1].

Застосування фільтруючих матеріалів різної густини, що зростає в напрямку фільтрування, та різної крупності зерен, що спадає в тому ж напрямку, дозволяє в якійсь мірі вирішити проблему нерівномірності розподілу по товщині завантаження [2-7]. Цей технічний прийом застосовується в двошарових антрацито-кварцових або керамзито-кварцових фільтрах. Також для першого шару можливе застосування менш коштовних, в порівнянні з антрацитом, в тому числі місцевих матеріалів: шкарлупи кокосового горіха [8], обпаленої пальмової кори [9], битого скла [10], деревного вугілля [11], гранул полістиролу [12], полівінілхлориду [13], поліпропілену [14] та ін.

Недоліками даних споруд є значне розширення завантаження верхнього менш щільного шару при промивці, перемішування шарів при водоповітряній та пульсуючій промивці, поступове перемішування шарів при тривалій експлуатації в результаті водяної промивки, недостатня механічна міцність фільтруючого матеріалу верхнього шару, в результаті значне зниження пористості з плином часу.

Підвищити брудоемність фільтру також можна за рахунок деяких конструктивних рішень, а саме застосуванням фільтрів: з перпендикулярними напрямками фільтрування та промивки [15], з перепуском частини витрати у нижні шари [16], з вертикальними дренажними елементами

[17] та ін. Але такі рішення призводять до значного ускладнення конструкції та експлуатації фільтруючих споруд.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу на тривалість фільтроциклу параметрів фільтруючого однорідного завантаження, а також технологічних параметрів швидких фільтрів та виявлення їх раціональних значень, при яких збільшується брудоемність та зменшуються експлуатаційні затрати.

Матеріали і методи досліджень.

Параметрами, які впливають на ефективність очищення води фільтруванням через зернисте завантаження, є еквівалентний діаметр зерен завантаження, швидкість фільтрування, товщина шару фільтруючого завантаження. Ці параметри вважаються підібраними раціонально, якщо вони забезпечують максимальну тривалість роботи фільтра в режимі фільтрування (час між промивками).

Вимкнення фільтра на регенерацію відбувається при виконанні однієї з умов: якість фільтрату знижується нижче допустимого рівня (відбувається проскакування забруднень в очищену воду) або втрати напору досягають граничних значень. Час роботи фільтра в режимі фільтрування до виконання першої умови називається часом захисної дії t_3 , другої умови – часом досягнення втрат напору граничних значень t_n . Робота фільтра вважається оптимальною, коли $t_3 \approx t_n$. У практичних умовах з міркувань санітарної надійності приймають такий режим, при якому $t_3 > t_n$ (зазвичай $t_3 = 1,2 \div 1,3 t_n$).

Серед теорій процесу очищення води фільтруванням найбільше визнання отримала теорія фільтрування малокоцентрованих суспензій Д.М. Мінца [18], яка експериментально підтверджена та доведена до практичного використання.

Згідно цієї теорії запропоновано такі залежності для визначення параметрів t_3 та t_n [19]:

$$t_3 = \frac{1}{K} \frac{b}{a} \left(L - \frac{X_0}{b} \right), \quad (1)$$

$$t_n = \frac{b}{a} \frac{L}{\phi F(A)} \frac{H_{2p} - H_0}{H_0}, \quad (2)$$

де L – товщина зернистого завантаження, m ; b та a – кінетичні коефіцієнти: b –

коефіцієнт прилипання часток зависі до зерен завантаження, m^{-1} , а – коефіцієнт відриву часток зависі від зерен завантаження, $год^{-1}$; К та X_0 – параметри фільтрування, що залежать від фізико-хімічних властивостей води та суспензії; $F(A)$ – функція, яка залежить від граничної насиченості А; φ – коефіцієнт неоднорідності зерен фільтруючого завантаження; $H_{гр}$ – граничні втрати напору у закольматованому завантаженні, м; H_0 – втрати напору у незакольматованому завантаженні (на початку фільтроциклу), м.

Параметри К та X_0 в залежності від якості очистки C/C_0 (C_0 – концентрація зависі у вихідній воді, мг/л) визначаються за допомогою X-T діаграми (рис. 1), яка отримана Д.М. Мінцем шляхом обробки експериментальних даних [19].

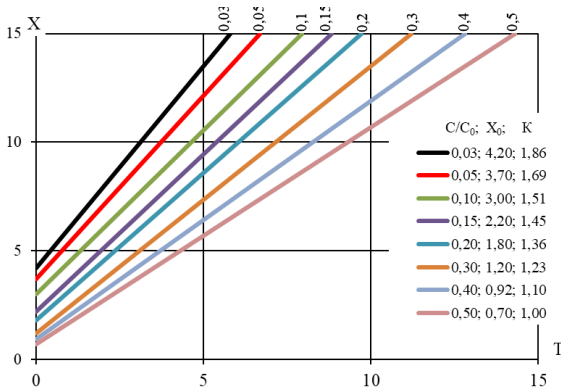


Рис. 1. X-T діаграма

Кінетичні коефіцієнти визначаються за залежностями

$$a = \alpha \frac{V}{d}; b = \frac{\beta}{V^{0.7} d^{1.7}}, \quad (3)$$

де α , β – коефіцієнти, що враховують сукупний вплив фізичних та фізико-хімічних властивостей води та зависі; V – швидкість фільтрації, м/год; d – еквівалентний діаметр зерен фільтруючого завантаження, м.

Функція $F(A)$ визначається згідно відомої залежності, представлені графічно на рис. 2 [19].

Гранична насиченість А представляє собою відношення об'єму пор, яка занята осадом, до об'єму пор чистого завантаження. Параметр А можна знайти за залежністю [19]:

$$A = \frac{S_{gp}}{n_0 \gamma}, \quad (4)$$

де $S_{гр}$ – гранична концентрація осаду в зернистому завантаженні, мг/л; n_0 – пористість незакольматованого завантаження; γ – вміст твердої фази в структурі осаду, мг/л.

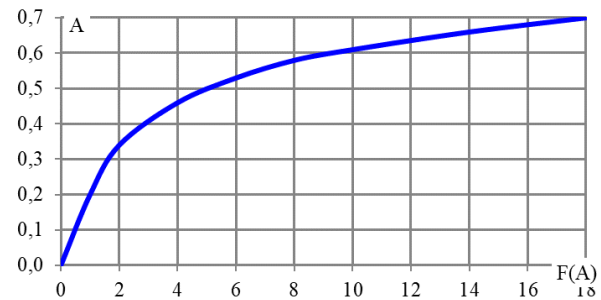


Рис. 2. Значення функції $F(A)$

Гранична концентрація осаду дорівнює [20]:

$$S_{gp} = C_0 \frac{bV}{a}. \quad (5)$$

Втрати напору у незакольматованому завантаженні знаходиться за залежністю, яка отримана з рівняння Козені-Кармана [20]:

$$H_0 = 184L \frac{\nu V (1-n_0)^2}{g d^2 n_0^3}, \quad (6)$$

де ν – кінематична в'язкість, m^2/c ; g – прискорення вільного падіння, m/c^2 .

Результати досліджень. За допомогою залежностей (1)-(6) та залежностей, представлених на рис. 1 та рис. 2, проведено дослідження впливу таких параметрів швидкого фільтру, як швидкість фільтрації, товщина шару фільтруючого завантаження та еквівалентний діаметр зерен завантаження на час захисної дії t_3 та час досягнення втратами напору граничних значень t_n . Рациональним співвідношенням між параметрами t_3 та t_n прийнято значення $t_3/t_n = 1,2$.

Значення коефіцієнтів α та β , які входять до залежностей (3) для визначення коефіцієнтів відриву та прилипання, приймалися згідно [20].

На рис. 3 представлено дані розрахунків щодо залежності параметрів t_3 та t_n від швидкості фільтрації та товщини шару фільтруючого завантаження. Ці розрахунки проведені для завантаження, розмір зерен якого складає 0,75 мм. На рис. 4 представлено дані розрахунків щодо залежності параметрів t_3 та t_n від швидкості фільтрації та еквівалентного діаметру зерен фільтруючого завантаження. Ці

розрахунки проведені для завантаження, товщина якого складає 1,0 м.

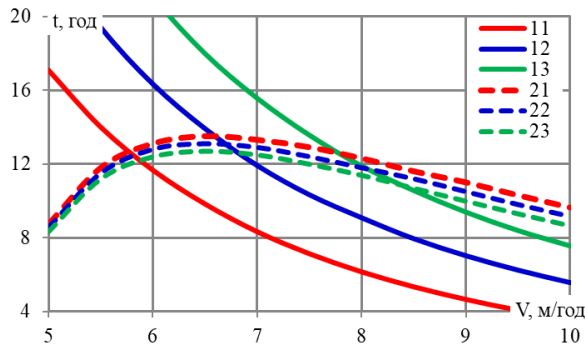


Рис. 3. Залежність часу роботи фільтру у режимі фільтрування від швидкості фільтрації та товщини шару фільтруючого завантаження:

11 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(V, L)$ при $L = 0,8$ м; 12 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(V, L)$ при $L = 1,0$ м; 13 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(V, L)$ при $L = 1,2$ м; 21 – $t_{\text{н}} = f(V, L)$ при $L = 0,8$ м; 22 – $t_{\text{н}} = f(V, L)$ при $L = 1,0$ м; 23 – $t_{\text{н}} = f(V, L)$ при $L = 1,2$ м

Також представляється цікавим дослідити взаємний вплив на тривалість очистки товщини шару та діаметру зерен фільтруючого завантаження. Результати таких розрахунків представлені на рис. 5. Розрахунки виконані при $V = 8$ м/год.

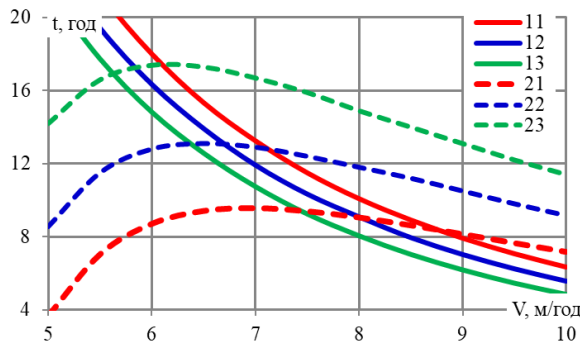


Рис. 4. Залежність часу роботи фільтру у режимі фільтрування від швидкості фільтрації та еквівалентного діаметру зерен фільтруючого завантаження: 11 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(V, d)$ при $d = 0,7$ мм; 12 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(V, d)$ при $d = 0,75$ мм; 13 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(V, d)$ при $d = 0,8$ мм; 21 – $t_{\text{н}} = f(V, d)$ при $d = 0,7$ мм; 22 – $t_{\text{н}} = f(V, d)$ при $d = 0,75$ мм; 23 – $t_{\text{н}} = f(V, d)$ при $d = 0,8$ мм

На рис. 6 показано залежність тривалості роботи споруди у режимі очистки при виконанні умови $t_{\text{ф}}/t_{\text{н}} = 1,2$ від еквівалентного діаметру зерен засипки та залежність від d відповідної товщини шару завантаження, при якій тривалість при даних параметрах максимальна. Функції $t = f(d)$ та $L = f(d)$ змінюються майже лінійно.

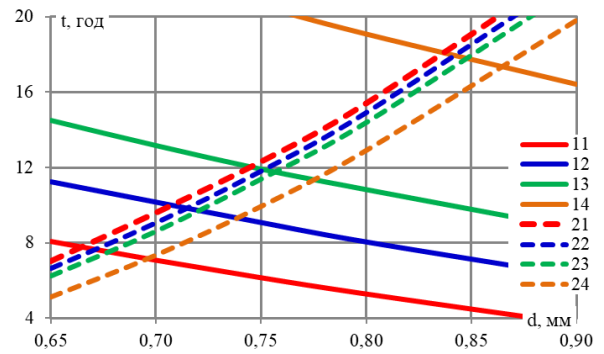


Рис. 5. Залежність часу роботи фільтру у режимі фільтрування від еквівалентного діаметру зерен та товщини шару фільтруючого завантаження:

11 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(d, L)$ при $L = 0,8$ м; 12 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(d, L)$ при $L = 1,0$ м; 13 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(d, L)$ при $L = 1,2$ м; 14 – $t_{\text{ф}}/1,2 = f(d, L)$ при $L = 1,8$ м; 21 – $t_{\text{н}} = f(d, L)$ при $L = 0,8$ м; 22 – $t_{\text{н}} = f(d, L)$ при $L = 1,0$ м; 23 – $t_{\text{н}} = f(d, L)$ при $L = 1,2$ м; 24 – $t_{\text{н}} = f(d, L)$ при $L = 1,8$ м

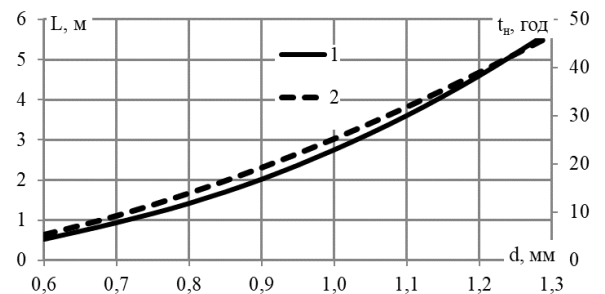


Рис. 6. Залежність необхідної товщини шару фільтруючого завантаження (1) та часу роботи фільтру у режимі фільтрування (2) від еквівалентного діаметру зерен засипки

Обговорення результатів. Дані, представлені на рис.3 та 4 свідчать про наступне. Зі збільшенням швидкості фільтрації тривалість захисної дії зменшується: спочатку різко, далі – більш повільно.

Залежність $t_{\text{н}} = f(V)$ має максимальний екстремум. Це можна пояснити таким чином. З одного боку, при зростанні швидкості фільтрації збільшується коефіцієнт відриву a , та зменшується коефіцієнт прилипання b (залежність 3). Співвідношення b/a зменшується – $\frac{b}{a} \sim V^{-1,7}$. Також зростають початкові втрати напору H_0 (залежність 6). При зменшенні b/a та збільшенні H_0 час досягнення втратами напору граничних значень зменшується (залежність 2).

З іншого боку згідно залежностям (3) та (5) гранична насиченість осаду залежить від швидкості фільтрації наступним чином $S_{\text{гр}} \sim V^{-0,7}$. При збільшенні швидкості фільтрації зменшується затримуюча здатність. Тобто при збільшенні V гранична концентрація осаду $S_{\text{гр}}$ зменшується та, відповідно, зменшуються гранична

насиченість A (залежність 4) і функція $F(A)$ (рис. 2), а t_n зростає (залежність 2). Максимум функції $t_n = f(V)$ реалізується, коли ці два процеси урівноважуються.

Зміна товщини шару фільтруючого завантаження більш впливає на час захисної дії t_3 , ніж на час досягнення втратами напору граничних значень t_n (рис. 3), і навпаки, t_n більш залежить від розміру зерен фільтруючого завантаження, ніж t_3 (рис. 4).

Точка, в якій перетинаються криві $t_n = f(V)$ та $t_3/1,2 = f(V)$ відповідають швидкості фільтрації та часу роботи фільтра в режимі фільтрування. Найбільша тривалість роботи споруди в режимі фільтрування реалізується при таких значеннях товщини шару та еквівалентному діаметрі зерен фільтруючого завантаження, при яких перетин кривих $t_n = f(V)$ та $t_3/1,2 = f(V)$ відбувається в точці максимального екстремуму функції $t_n = f(V)$.

Значно збільшити час між промивками можна, застосовуючи більш дрібне завантаження. Але при цьому максимальний екстремум зміщується вліво, тобто настає при меншій швидкості фільтрування.

Збільшувати тривалість роботи фільтра між промивками зменшенням швидкості фільтрування нерационально. Для збереження необхідної продуктивності в цьому випадку треба збільшувати площу фільтрування, відповідно затрати на промивку.

Дані, представлені на рис. 5, показують, що при збільшенні розміру зерен засипки та відповідному збільшенні товщини шару завантаження час роботи фільтра в режимі фільтрування зростає. Збільшення параметру L дозволяє компенсувати зниження затримуючої здатності в результаті укрупнення засипки.

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок про доцільність одночасного збільшення розміру зерен та товщини шару фільтруючої засипки для подовження роботи фільтра між промивками.

Однак, слід відмітити, що параметри фільтруючого завантаження впливають також і на параметри промивки. Від

товщини шару засипки залежать втрати напору при промивці, а діаметр зерен впливає на тривалість та інтенсивність промивки. Крупні зерна відмиваються легше, ніж дрібні, але для зважування шару з крупною фракцією потрібна більша інтенсивність промивки [1]. З якоюсь мірою достовірності можна вважати при розрахунках кількості промивної води, що ці фактори урівноважують один одного.

Крім того, необхідно зазначити, що на практиці збільшення товщини шару фільтруючого завантаження обмежується зростанням його розширення при промивці, що додатково впливає на будівельну висоту споруди.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють виявити раціональні значення параметрів фільтрування.

Висновки. За допомогою залежностей, заснованих на теорії фільтрування Д.М. Мінца, проведено розрахунки впливу основних конструктивних та технологічних параметрів фільтрування на час захисної дії та час досягнення втратами напору граничних значень, які дозволяють порівняти ступінь впливу та виявити раціональні параметри. Проведені дослідження, які дозволяють рекомендувати для подовження роботи фільтра у режимі фільтрування одночасно збільшувати розмір зерен та товщину шару фільтруючої засипки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Прогульный В.И. *Промывка водоочистных фильтров*. Одесса: Оптимум, 2012. 240 с.
2. Heidrun V., Fischer U. Layout and Operation of granular fixed bed reactors. *Mine Water – Managing the Challenges*. IMWA, 2011. P. 497-500.
3. Naseer Rusul, Jassim Alaa' Abdulrazaq, Abu-Alhail Saad. A Fast Predicting Neural Fuzzy Model for Suspended Solid Removal Efficiency in Multimedia Filter. *Journal of Environmental Protection*, 2010. Issue 1. P. 438-447. doi.org/10.4236/jep.2010.14051
4. Al-Rawi S.M. Introducing sand filter capping for turbidity removal for potable water treatment plants of Mosul/Iraq. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2009. Issue 1 (1). P. 011-019.
5. Sabiri N.-E., Monnier E., Raimbault V., Séche V., Jaouen P. Effect of filtration rate on coal-sand dual-media filter performances for microalgae removal. *Environmental Technology (United*

- Kingdom), 2017. Issue 38 (3). P. 345-352. doi.org/10.1080/09593330.2016.1193224
6. Sabale R., Shinde R., Sangar U. Capping technique to rapid sand filter. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015. Issue 10 (1). P. 1765-1772.
 7. Zhang G., Kang X., Zhang P., Zeng G. Pilot study of low-temperature low-turbidity reservoir water treatment using dual-media filtration with micro-flocculation. *International Conference on Multimedia Technology*, 2011. P. 1152-1155.
 8. Odira P. M. A., Ndiba P. K. Performance of crushed coconut shell dual media filter. *Journal of Civil Engineering Research and Practice*, 2007. Issue 2. Vol. 4. P. 85-92. doi.org/10.4314/jcerp.v4i2.29176
 9. Jusoh A., Rajiah M. N. A., Noráaini A., Azizah E. Determination of head loss progress in dual-media BOPS-sand filter using numerical modeling incorporated with matrix approach. *Desalination and Water Treatment*, 2011. Issue 32 (1- 3). P. 33-41.
 10. Soyer E. Performance comparison of granular media filter beds. *Desalination and Water Treatment*, 2016. Issue 57 (52). P. 24867-24881. doi.org/10.1080/19443994.2016.1150206
 11. Sanyaolu B.O. Comparative performance of a charcoal dual media filter and a conventional rapid sand filter. *Journal of Natural Sciences Engineering and Technology*, 2010. Issue 1. Vol. 9. P. 137-146.
 12. Schöntag J.M., Pizzolatti B.S., Jangada V.H., Souza F.H., Sens M.L. Water quality produced by polystyrene granules as a media filter on rapid filters. *Journal of Water Process Engineering*, 2015. Issue 5. P. 118-126.
 13. Sambhaji G., Sunil M. Analysis of PVC rapid sand filter. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2016. Vol. 2. Issue 9. P. 1370- 1373.
 14. Ranjeet S., Sahil M. Improved rapid sand filter for performance enhancement. *International Journal of Science and Research*, 2014. Vol. 3. Issue 10. P. 1031-1033.
 15. Паболков В.В. Удосконалення роботи швидких фільтрів водоочисних споруд при підготовці питної води: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.23.04 «Водопостачання, каналізація». Харків: ХНУБА, 2015. 20 с.
 16. Карагяур А.С., Волков В.Н. Математическое моделирование работы скорого фильтра с отводом части потока в нижние слои. *Научовий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. № 4 (90). С. 180-187.
 17. Eroyan S., Karahiaur A., Volkov V., Babenko S. Research into the influence of vertical drainage elements on the operational efficiency of rapid filters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*. Kharkiv, 2018. 1/10(91). P. 62-69. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123559
 18. Минц Д. М. *Теоретические основы технологии очистки воды*. М.: Стройиздат, 1964. 155 с.
 19. Куликов Н.И., Найманов А.Я., Омельченко Н.П., Чернышев В.Н. *Теоретические основы очистки воды: Учебное пособие*. Донецк: Ноулидж, 2009. 298 с.
 20. Грабовський П.О., Гурінчик Н.О. Чисельна реалізація математичної моделі фільтрування. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: науково-техн. зб. К.: КНУБА, 2006. Вип.6. С.4-13.*

REFERENCES:

1. Grabovskiy P.A., Larkina G.M., Progulnyiy V.I. *Promyivka vodoochistnyih filtrov*. Odessa: Optimum, 2012. 240 p.
2. Heidrun V., Fischer U. Layout and Operation of granular fixed bed reactors. *Mine Water – Managing the Challenges*. IMWA, 2011. P. 497-500.
3. Naseer Rusul, Jassim Alaa' Abdulrazaq, Abu-Alhail Saad. A Fast Predicting Neural Fuzzy Model for Suspended Solid Removal Efficiency in Multimedia Filter. *Journal of Environmental Protection*, 2010. Issue 1. P. 438- 447. doi.org/10.4236/jep.2010.14051
4. Al-Rawi S.M. Introducing sand filter capping for turbidity removal for potable water treatment plants of Mosul/Iraq. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2009. Issue 1 (1). P. 011-019.
5. Sabiri N.-E., Monnier E., Raimbault V., Séche V., Jaouen P. Effect of filtration rate on coal-sand dual-media filter performances for microalgae removal. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 2017. Issue 38 (3). P. 345-352. doi.org/10.1080/09593330.2016.1193224
6. Sabale R., Shinde R., Sangar U. Capping technique to rapid sand filter. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015. Issue 10 (1). P. 1765-1772.
7. Zhang G., Kang X., Zhang P., Zeng G. Pilot study of low-temperature low-turbidity reservoir water treatment using dual-media filtration with micro-flocculation. *International Conference on Multimedia Technology*, 2011. P. 1152-1155.
8. Odira P. M. A., Ndiba P. K. Performance of crushed coconut shell dual media filter. *Journal of Civil Engineering Research and Practice*, 2007. Issue 2. Vol. 4. P. 85-92. doi.org/10.4314/jcerp.v4i2.29176
9. Jusoh A., Rajiah M. N. A., Noráaini A., Azizah E. Determination of head loss progress in dual-media BOPS-sand filter using numerical modeling incorporated with matrix approach. *Desalination and Water Treatment*, 2011. Issue 32 (1- 3). P. 33-41.

10. Soyer E. Performance comparison of granular media filter beds. *Desalination and Water Treatment*, 2016. Issue 57 (52). P. 24867- 24881. doi.org/10.1080/19443994.2016.1150206
11. Sanyaolu B.O. Comparative performance of a charcoal dual media filter and a conventional rapid sand filter. *Journal of Natural Sciences Engineering and Technology*, 2010. Issue 1. Vol. 9. P. 137-146.
12. Schöntag J.M., Pizzolatti B.S., Jangada V.H., Souza F.H., Sens M.L. Water quality produced by polystyrene granules as a media filter on rapid filters. *Journal of Water Process Engineering*, 2015. Issue 5. P. 118-126.
13. Sambhaji G., Sunil M. Analysis of PVC rapid sand filter. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2016. Vol. 2. Issue 9. P. 1370- 1373.
14. Ranjeet S., Sahil M. Improved rapid sand filter for performance enhancement. *International Journal of Science and Research*, 2014. Vol. 3. Issue 10. P. 1031-1033.
15. Pabolkov V.V. *Udoskonalennia roboty shvydkykh filtriv vodoochysnykh sporud pry pidhotovtsi pytnoi vody: avtoref. dys. na здobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk: 05.23.04 «Vodopostachannia, kanalizatsiia»*. Kharkiv: KhNUBA, 2015. 20 p.
16. Karahiaur A.S., Volkov V.N. Matematicheskoe modelirovanie roboty skorogo filtra s otvodom chasti potoka v nizhnie sloi. *Naukoviy visnik budivnistva*. Harkiv: HNUBA, HOTV ABU, 2017. № 4(90). S. 180-187.
17. Epoyan S., Karahiaur A., Volkov V., Babenko S. Research into the influence of vertical drainage elements on the operational efficiency of rapid filters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*. Kharkiv, 2018. 1/10(91). P. 62-69. doi.org/<https://www.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123559>
18. Mints D. M. *Teoreticheskie osnovy tehnologii ochistka vodyi*. M.: Stroyizdat, 1964. 155 p.
19. Kulikov N.I., Naymanov A.Ya., Omelchenko N.P., Chernyishev V.N. *Teoreticheskie osnovy ochistki vodyi: Uchebnoe posobie*. Donetsk: Noulidzh, 2009. 298 p.
20. Hrabovskyi P.O., Hurinchyk N.O. Chyselna realizatsiia matematychnoi modeli filtruvannia. *Problemy vodopostachannia, vodo-vidvedennia ta hidravliki: naukovy-tekhn. zb. K.: KNUBA, 2006. Vip.6. P.4-13.*

Карагяур А.С., Исакиева О.Г., Сорокина В.Е., Титов А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ РАБОТЫ. Скорые фильтры с зернистой загрузкой широко применяют на станциях водоподготовки для доочистки воды от тонкодисперсных коллоидных и взвешенных

веществ после осветления ее в отстойниках или в осветлителях со слоем взвешенного осадка. Высокие эксплуатационные затраты, связанные с периодической регенерацией зернистой засыпки путем промывки, обуславливают необходимость усовершенствований, направленных на их сокращение. Одним из таких путей является увеличение времени работы сооружения между промывками. На продолжительность работы фильтра в режиме очистки влияют многие параметры, среди них: скорость фильтрования, эквивалентный диаметр зерен и толщина слоя загрузки. Исследование степени влияния каждого из них и рекомендации по определению их рациональных величин актуальны. Исследование влияния конструктивных и технологических параметров скорого фильтра с однослойной загрузкой на продолжительность фильтроцикла. Теоретические исследования на основе известных зависимостей теории фильтрации Д.М. Минца. Эти зависимости связывают между собой время защитного действия и достижение потерь напора предельных значений с параметрами фильтрации. Получены графические зависимости между параметрами фильтрующего сооружения и временем работы в режиме фильтрации. Проанализировано совокупное влияние этих параметров на время защитного действия и время достижения потерь напора предельных значений. Разработаны рекомендации направлений повышения эффективности работы быстрого фильтра с однослойной зернистой загрузкой. В качестве критерия эффективности принято время работы фильтра между промывками. Описаны условия, которые ограничивают рекомендованные усовершенствования. Проведенные исследования позволяют обоснованно рекомендовать для продления работы быстрого фильтра в режиме фильтрации одновременно увеличивать размер зерен и толщину слоя фильтрующей засыпки.

Ключевые слова: фильтрование, защитное действие, потери напора, фильтрующая загрузка, эквивалентный диаметр, грязеемкость.

Karahiaur A., Isakiieva O., Sorokina V., Titov A. STUDY OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS OF RAPID FILTERS ON THE EFFICIENCY OF THEIR OPERATION. Rapid filters with granular load are widely used at water treatment plants for additional water purification with regards to finely dispersed colloidal and suspended solids after water clarification in settling basins or in clarifiers with a layer of suspended precipitate. High running costs due to periodic regeneration of the granular load via rinsing drive the need for improvements in order to lower these costs. One of such approaches deals with increasing the running time of the facility between washing. The working time of a filter in purification mode depends on multiple parameters. Namely, filtration speed, equivalent grain diameter and the thickness of the loading layer. It is therefore very important to study the influence of each of these parameters and to establish recommendations for their rational values. Study the influence of construction

and technological parameters of a rapid filter with single-layer loading on the filtering cycle duration. Theoretical investigations on the basis on the results of the filtration theory of D.M. Minz. The latter relate, on the one side, the protection time and the time needed to reach the limiting values of the head reduction with filtration parameters on the other side. We have obtained graphical dependencies between the parameters of a filtration facility with its running time in filtration mode. The effect of the parameters on the protection time and the time needed to reach the limiting values of the loss head is analyzed. Recommendations on

directions of improving the efficiency of a rapid filter with single-layer granular load are also provided. The working time of the filter in between washing has been suggested as the efficiency criterion. Specific conditions limiting the suggested improvements are also outlined. These results suggest that in order to prolongate the working time of a rapid filter in filtering mode one has to both increase the grain size and the thickness of the filtering layer.

Keywords: filtration, protective action, head loss, filtering loading, equivalent diameter, dirt-holding capacity.

DOI: 10.29295/2311-7257-2020-100-2-237-242

УДК 628.16

Самченко Д., Кочетов Г., Ємчура Б., Пахомов Д.

Київський національний університет будівництва та архітектури

(Повітрофлотський пр. 31, Київ, 03037, Україна; e-mail: sama314@ukr.net, gkochetov@gmail.com, yemchura.b.m@gmail.com, pahomov4444@i.ua; orcid.org/0000-0003-3305-8180, orcid.org/0000-0003-0041-7335, orcid.org/0000-0001-8079-3407, orcid.org/0000-0002-0953-0302)

ВИЛУЧЕННЯ СУЛЬФАТ-ІОНІВ З РОЗЧИНІВ ФЕРИТИЗАЦІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ ГАЛЬВАНІЧНИХ ШЛАМІВ

Розглядається перспектива підвищення рівня екологічної безпеки при реалізації комплексної технології методом феритизації. Експериментально встановлено, що після феритизаційної переробки гальванічних шламів вміст розчинених солей сульфатів в очищеному від іонів важких металів розчині не відповідає нормативним вимогам до води, яка використовується у гальванічному виробництві. В роботі проведено аналіз відомих методів очистки стічних вод з підвищеною концентрацією с сульфат-іонів (> 8000 мг/дм³) та проведено їх порівняння. Показана перевага та розглянуто перспективу застосування реагентних методів. В роботі приведено експериментальні результати очистки розчинів від сульфат-іонів високої концентрації, що утворюються при феритизаційній переробці гальванічних шламів. Показано, що ефективність процесу очистки залежить від вибору способу переробки, витрати та співвідношення реагентів. Встановлено, що при використанні гідроксиду барію можна досягти високої ефективності вилучення сульфатів ($> 93\%$), а отже знизити концентрації цього іону, що дозволяє повторно використовувати очищений розчин на виробництві. При цьому утворюється нетоксичний осад сульфату барію, який в подальшому можна легко утилізувати. Такий метод очистки розчину від сульфат-іонів, які залишаються після переробки гальванічних відходів методом феритизації, сприяє суттєвому скороченню споживання реагентів та водних ресурсів.

Ключові слова: феритизація, сульфати, гальванічні шлами, методи очистки, концентровані розчини, гідроксид барію.

Вступ. Найбільшою екологічною проблемою сучасного гальванічного виробництва вважається утилізація гідроксидних осадів, які утворюються в результаті реагентної очистки стічних вод. Вилуговування важких металів з цих шламів призводить до небезпечного розповсюдження токсичних сполук в навколишньому середовищі. Тому на часі необхідність розробки маловідходних і енергоощадних технологій, що дозволять ефективно утилізувати шлами та створювати замкнуті системи оборотного водопостачання на виробництві.

Відомі способи вилучення цінних компонентів із шламів гальванічних виробництв економічно і екологічно неефективні. Тому основні напрямки у вирішенні цієї проблеми пов'язані з використанням шламів в якості добавок у виробництві різних матеріалів: бетону [1], керамзиту [2], асфальту [3], портландцементу [4], цегли, керамічних виробів [5], пігментів та каталізаторів [6], тощо. Проте при цьому недостатньо вивчено санітарно-хімічну безпеку як технології виробництва, так і готових виробів з добавками гальванічних шламів, що вкрай важливо для промислового впровадження [7].