

УДК 628.16.067.1

## ВИБІР СПОСОБУ РЕАГЕНТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ У БАГАТОСТУПЕНЕВИХ ЗЕРНИСТИХ ФІЛЬТРАХ

О.О. ШЕВЧУК

Київський національний університет технологій та дизайну

*Прямоточне багатоступеневе фільтрування через зернисті завантаження має широке застосування у практиці водоочищення для отримання питної води. Останнім часом, постала необхідність у реконструкції існуючих очисних споруд з контактними освітлювачами, яка полягає у добудові до них швидких фільтрів другого ступеню. У статті показано, що від способу реагентної обробки води, зокрема від дози та місця уведення коагулянту у багатоступеневих схемах, залежить якість питної води, її відповідність вимогам сучасних нормативних документів*

Світовий досвід показує, що в умовах високого рівня забруднення поверхневих джерел водопостачання, необхідно застосовувати комплексні установки глибокого вилучення домішок із природних і стічних вод, в тому числі, за рахунок використання багатоступеневих зернистих і адсорбційних фільтрів. Так, останнім часом, виникає потреба реконструкції станцій одноступеневого очищення води з контактними освітлювачами, які доцільно переобладнати у прямоточні двоступеневі швидкі фільтри. Підвищені навантаження по забрудненням різного походження у прямоточних фільтрувальних спорудах мають місце під час паводків і повеней, при цьому необхідно використовувати головну перевагу багатоступеневого фільтрування, яка полягає в його поетапності, що дає можливість широкого та цілеспрямованого застосування різноманітних фізичних і хімічних методів інтенсифікації процесу на окремих ступенях, У результаті цих заходів можна досягти суттєвого подовження терміну експлуатації фільтрів між промивками і забезпечити високу якість питної води у відповідності до вимог нормативних документів, що є актуальною проблемою сьогодення.

У спорудах багатоступеневих очисних фільтрів із зернистим завантаженням реагентна обробка води, у тому числі коагулянтном, має велике значення, оскільки ефективність процесу затримки домішок фільтруванням залежить не тільки від необхідної дози коагулянту (оптимальної –  $D_{\text{копт}}$ ), але й від способу розподілу цієї дози між ступенями фільтрів, тобто від місця її уведення у схемі послідовно з'єднаних фільтрів.

### **Об'єкти та методи дослідження**

**Об'єктом дослідження** є багатоступеневі фільтри з мінеральними та штучними зернистими завантаженнями. **Предметом дослідження** є способи реагентної обробки води у багатоступеневих фільтрах для вилучення різноманітних забруднюючих домішок із води.

Метою даної статті є наукове обґрунтування та розробка способу визначення раціональної обробки води коагулянтами для інтенсифікації процесу багатоступеневого фільтрування через зернисті завантаження під час очищення різноманітних природних вод, а також для отримання питної води високої якості.

Методи дослідження – фізичне і математичне моделювання процесу багатоступеневого фільтрування через зернисті завантаження на лабораторних стендових установках з модельними розчинами, а також у реальних умовах з використанням сучасних фізико-хімічних методик та обладнання.

Необхідну для обробки води дозу коагулянту приймають за методикою визначення дози при контактному освітленні води [1], ця доза називається оптимальною дозою коагулянту для вихідної води.

Оптимальна доза коагулянту залежить від властивостей дисперсної системи води, що очищається: температури, кількості зважених і колоїдних домішок, колірності та каламутності, іонного складу дисперсійного середовища, значення рН та інших фізико-хімічних властивостей води і її домішок [2]. Визначення раціонального розподілу цієї дози між ступенями фільтрів викликає труднощі, оскільки за звичаєм здійснюється емпірично після проведення великого числа лабораторних і натурних експериментів, при цьому витрати праці і часу ростуть прямо пропорційно кількості ступеней очищення у багатоступеневих фільтрувальних спорудах.

У практиці водоочищення рекомендації щодо реагентної обробки води, навіть однакової якості, у багатоступеневих схемах носять суперечливий характер. Так, наприклад, у роботі [3] пропонується для води оз. Юлемисте з невеликою кількістю мінеральних завислих домішок, але з періодичним (сезонним) збільшенням концентрації суспензії за рахунок вмісту планктону, розподіляти величину оптимальної дози коагулянту на частини у співвідношенні 1:2 та у введенні 1/3 оптимальної дози коагулянту перед першим ступенем очищення з наступним фільтруванням через фільтри першого ступеню і введенням 2/3 оптимальної дози коагулянту перед другим ступенем очищення з наступним фільтруванням через фільтри другого ступеню. Така обробка води коагулянтом у двоступеневій схемі дозволяє перерозподілити навантаження за затриманим забрудненням між ступенями фільтрів так, щоб граничні втрати напору на першому ступеню очищення не перевищували 2,0–2,5 м при роботі фільтру  $\geq 8$  годин, при цьому фільтри другого ступеню не є перевантаженими і забезпечують якісний фільтрат відповідно до вимог [4] протягом усієї тривалості їхньої роботи, що складає 8–12 годин відповідно до вимог [5]. Недоліком такої реагентної обробки є те, що запропонований розподіл коагулянту між ступенями фільтрів визначається у результаті експериментальних досліджень з використанням двох фільтрувальних колон, що імітують роботу двоступеневих фільтрів. Ці колони мають розміри у плані 150x150 мм, висотою більше 4 м, обладнані пробовідбірними кранами через 0,4 м по висоті і завантажені зернистими фільтруючими матеріалами з товщиною шару – 2 м. Виконання технологічних експериментів вимагає значних витрат праці і часу, зважаючи на те, що найменша тривалість фільтроциклу складає 8 годин, протягом яких виконується відбір проб з пробовідбірних кранів через кожні 15–30 хвилин для аналізу. Співвідношення частин доз коагулянту (1:2) прийнято постійним і не корегується зі зміною кількості забруднюючих воду домішок, що не дозволяє проводити технологічний процес у найбільш доцільних режимах, а саме з максимальною тривалістю фільтроциклу при мінімальному сумарному темпі приросту втрат напору на обох ступенях фільтрів, забезпечуючи якість очищеної води відповідно до [4].

У роботі [6] очищенню піддається природна вода р. Вичегди, яка характеризується підвищеною колірністю, що змінюється протягом року від 70 до 160 град., малою каламутністю, що у період паводку може підвищуватися до 10–18 мг/дм<sup>3</sup>, а також низькими показниками лужності 0,4–0,9 мг - экв/дм<sup>3</sup> і температури 0,1–0,3°C (листопад – травень). Сутність реагентної обробки цієї води полягає у визначенні оптимальної дози коагулянту відповідно до [1], і у встановленні режиму роздільного уведення частин оптимальної дози перед двома ступенями фільтрів за методикою проведення технологічних досліджень і визначення допустимих параметрів роботи споруд двоступеневого фільтрування згідно з [7].

Зазначена методика полягає у виконанні технологічних досліджень на двох фільтрувальних колонках: перша – діаметром 200 мм, висотою 4 м з товщиною зернистого шару 2 м імітує роботу фільтрів першого ступеню, друга – діаметром 50–100 мм, висотою 3 м з товщиною шару завантаження

1,5 м імітує роботу другого ступеню. Забезпечується можливість роздільного уведення реагентів перед фільтрами першого і другого ступенів. Як впливає із [6] для очищення води зазначеної якості необхідно виконати дослідження, у яких використовують можливі варіанти розподілу частин оптимальної дози коагулянту на ступенях фільтрів, якщо таких варіантів, наприклад 10, то потрібно проведення 10 фільтроциклів, а для одержання достовірних результатів не менш 30 фільтроциклів, що практично займе 10–30 робочих днів.

Для вихідної води з колірністю 120 град. і каламутністю  $1,8 \text{ мг/дм}^3$ , оптимальна доза коагулянту складає  $40 \text{ мг/дм}^3$  по  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . На водоочисній станції продуктивністю 50 тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$ , попереднє освітлення води відбувається на 12 контактних префільтрах першого ступеню з площею  $39,6 \text{ м}^2$  кожний, що працюють з лінійною швидкістю фільтрування 5 м/год, та відключаються на промивку при каламутності фільтрату, що досягає  $20 \text{ мг/дм}^3$ . Потім фінішне очищення провадиться на 10 швидких піщаних фільтрах другого ступеню з корисною площею  $39,6 \text{ м}^2$ , що працюють з лінійною швидкістю фільтрування 7 м/год, які повинні забезпечувати якість очищеної води у відповідності до вимог [4].

При роздільному введенні коагулянту достатньо подати на перший ступінь  $20 \text{ мг/дм}^3$ , а на другий ступінь  $5 \text{ мг/дм}^3$  по  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , тобто сумарна необхідна доза коагулянту дорівнює  $25 \text{ мг/дм}^3$ , а співвідношення доз, що подаються на перший і другий ступені складає: (4:1). При очищенні вихідної води з колірністю 120 град. і каламутністю  $1,8 \text{ мг/дм}^3$  шляхом уведення 80 % дози коагулянту перед контактними префільтрами (першого ступеню) і 20 % перед швидкими фільтрами (другого ступеню) отримана якість очищеної води задовольняла вимогам [4], а технологічні показники роботи фільтрів відповідали вимогам [5].

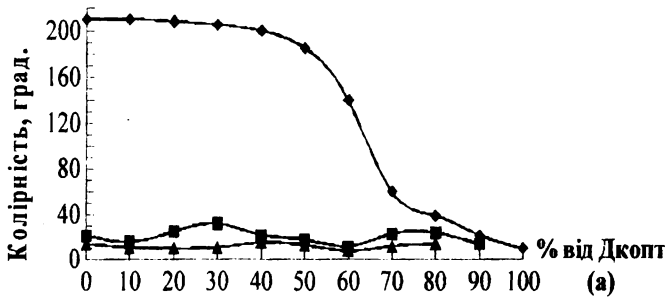
Слід зазначити, що величина вмісту залишкового алюмінію у питній воді на рівні до  $0,5 \text{ мг/дм}^3$  [4] не відповідає значенню  $0,2 \text{ мг/дм}^3$ , що регламентується в [8]. Цей нормативний документ виражає сучасні вимоги до якості питної води, що наближаються до нормативів ЄС і ВОЗ, при цьому вміст залишкового алюмінію відноситься до токсикологічних показників і має другий клас небезпеки, оскільки являє істотну загрозу для життєдіяльності та здоров'я людей.

При зміні показників вихідної води (р. Вичегди), наприклад, при підвищенні колірності до 160 град., дані щодо розподілу частин оптимальної дози коагулянту не наведені. Очевидна необхідність корегування розподілу оптимальної дози коагулянту між ступенями фільтрів у залежності від зміни якості вихідної води, що не враховується у роботі [6].

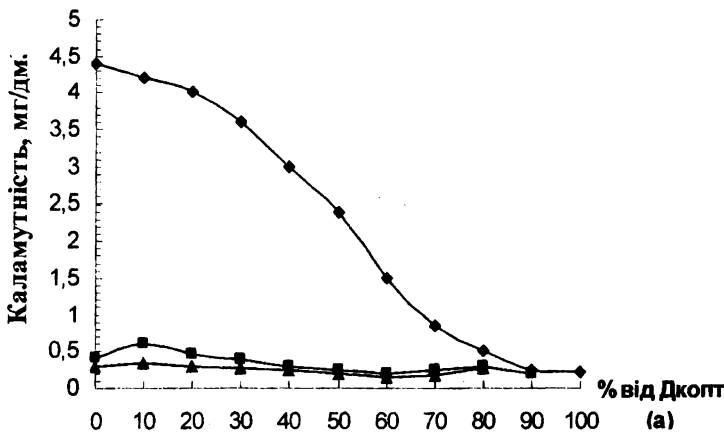
Таким чином, основними недоліками способу [6] є: значні витрати часу і висока трудомісткість експериментів за методикою [7] для вибору режиму введення частин оптимальної дози коагулянту на окремих етапах фільтрування; немає можливості гнучко і швидко реагувати на зміни показників складу і властивостей дисперсної системи вихідної води, що обумовлює використання постійного значення розподілу оптимальної дози коагулянту поміж ступенями фільтрів; відсутність корегування співвідношення частин коагулянту, що вводяться на окремих етапах фільтрування, призводить до неефективної експлуатації двоступеневих фільтрувальних споруд, а саме до недостатньої тривалості роботи фільтрів другого ступеню, що збільшує кількість промивок їхніх зернистих завантажень і тим самим знижує корисну продуктивність водоочисної станції; у періоди підвищення навантажень на фільтри (при очищенні висококолірних вод) не забезпечується якість питної води за такими показниками, як каламутність і вміст залишкового алюмінію.

**Результати та їх обговорення**

У результаті експериментальних досліджень з використанням стендових лабораторних установок [12], а також натурних досліджень, проведених при очищенні природних вод р. Вуж [13], розроблено експрес-методику по визначенню раціонального розподілу оптимальної дози коагулянту для обробки води на окремих етапах багатоступеневого фільтрування, яка дозволяє не проводити трудомістких технологічних експериментів, і базується на методиці пробної контактної коагуляції, тобто на застосуванні паперових фільтрів з діаметром пор 3 нм (або зернистих фільтрів з тонким шаром засипки) для імітації роботи кожного етапу фільтрів.

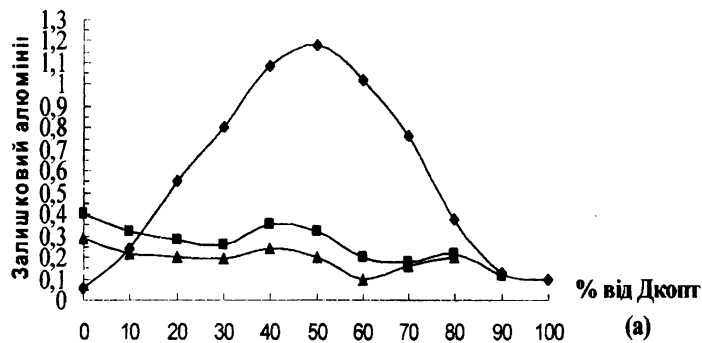


80 70 60 50 40 30 20 20 10 10 --- (б)  
20 20 20 20 20 20 20 10 10 --- (к)



80 70 60 50 40 30 20 20 10 10 --- (б)  
20 20 20 20 20 20 20 10 10 --- (к)

Спочатку визначають значення необхідної для очищення вихідної води оптимальної дози коагулянту ( $D_{копт}$ ) за методикою пробної контактної коагуляції [1]. Далі розбивають значення  $D_{копт}$  на частини  $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,  $b(b_1, \dots, b_n)$ , ...  $l(l_1, \dots, l_n)$ ,  $k(k_1, k_2, \dots, k_n)$ , причому максимальне число частин доз  $k=N$ , де  $N$  – кількість ступенів фільтрів. Готують  $n$  проб вихідної води і в кожну пробу вводять частину оптимальної дози коагулянту  $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , при дозі  $a_1=0, a_n=D_{копт}$ , потім фільтрують і у фільтраті  $F_A$  визначають залежність  $A$  – якість фільтрату  $F_A$  від уведеної  $a$  частини  $D_{копт}$ . На другому етапі в проби  $(n-1)$  фільтрату  $F_A$  вводять частину  $D_{копт}$   $b(b_1, b_2, \dots, b_{n-1})$  від залишка дози коагулянту [ $D_{копт} - (a_1, \dots, a_{n-1})$ ], фільтрують і в отриманому фільтраті  $F_B$  визначають залежність  $B$  – якість фільтрату  $F_B$  від уведеної дози коагулянту  $b$ , на останньому етапі в



проби (п-х) отриманого фільтрату  $F_n$  вводять фінішну дозу  $k(k_1, k_2, \dots, k_{(n-x)})$  – залишок оптимальної дози коагулянту  $[D_{kopt} - (a+b+\dots+l)]$ , фільтрують і в отриманій очищеній воді визначають залежність  $K$  – якість очищеної води від уведеної частини  $k$  оптимальної дози коагулянту.

80 70 60 50 40 30 20 20 10 10 -- (б)

20 20 20 20 20 20 20 10 10 --- (к)

Рис. 4. Якість фільтрату по колірності, каламутності, вмісту залишкового алюмінію від уведеної частини  $D_{k(opt)}$  (%).

За залежністю А вибирають доцільну частину  $D_{kopt}$ , яку вводять перед першим і останнім фільтрами, а за залежностями Л і К визначають раціональний розподіл  $D_{kopt}$ , що вводиться перед фільтрами 1, 2, ... N.

Дану методику було апробовано на модельних суспензіях у лабораторних умовах та на природних водах р. Вуж і впроваджено на станції двоступеневого фільтрування виробничого управління водопровідно-каналізаційного господарства м. Коростень. В Укрпатент отримано патент на винахід № 90404 [12].

**Висновки**

Удосконалено спосіб очищення води реагентним багатоступеневим фільтруванням шляхом експресного визначення раціонального перерозподілу частин оптимальної дози коагулянту, які подаються на 1,2, ...N фільтри, і побудови залежностей якості фільтрату по колірності, каламутності і вмісту залишкового алюмінію від уведеної частини  $D_{k(opt)}$ , що забезпечує високу ефективність технологічного процесу очищення води багатоступеневим фільтруванням, а саме: можливість швидкого і гнучкого реагування на зміну складу вихідної води шляхом зміни перерозподілу частин оптимальної дози коагулянту між окремими ступенями фільтрів; збільшення тривалості фільтроциклу в 1,4 рази; забезпечення економії промивної води і збільшення корисної продуктивності фільтрувальної станції в 1,07 – 1,1 рази; та дозволяє одержати високу якість питної води відповідно до сучасних вимог [8].

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. – М.:Стройиздат, 1973. – 273 с, С. 249.
2. Запольский А. К., Баран А. А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. – Л.: Химия. -- 1987. – 208 с.
3. Кыйв А. Я., Коар Э. Р., Лейк Э. Я. Двухступенная фильтрация маломутных вод // Труды Таллинского политехнич. института. Сборник статей по санитарной технике VIII. – 1972. – № 330. – С. 21–27.
4. ГОСТ 2874-89 "Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством".
5. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – с.136.
6. Непаридзе Г. Г., Грошев С. К., Трофимова Р. А. Двухступенчатое фильтрование для очистки рек северных районов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1986. – № 2. – С. 4–5.

- 
7. Рекомендации на применение технологии очистки воды двухступенчатым фильтрованием // М.: ОНТИ АКХ им. К. Д. Памфилова, 1983. – 24 с.
8. ДСанПіН 383-96 Вода питна, гігієнічні вимоги до якості централізованого господарсько-питного постачання.
9. Shevchuk O. Direct bi-stage filters. Operation experience and methods for improving filtration / O. Shevchuk // Problems in Fluid Mechanics and Hydrology : Internat. Conf., June 23–25, 1999.: proceed. – Prague (Czech Repub.), 1999.–V.2, P.534–539.
10. Шевчук Е.А. Повышение эффективности коагуляционной очистки высокоцветных вод на двухступенчатых фильтрах (на примере водопроводной станции г. Коростень) / Е. А. Шевчук // Коллоидная химия в решении проблем охраны окружающей среды : междунар. конф., 15–17 ноября 1994 г. : тезисы докл. – Минск, 1994. – С. 68–69.
11. Шевчук О. О., Поляков В.Л. Методика визначення розподілу реагентів на окремих етапах очищення води в багатоступеневих зернистих фільтрах // Вісник КНУТД. – 2008, № 1. – С. 145–148.
12. Пат. 90404 Україна, МПК С 02F 9/00. Спосіб реагентного очищення води / Шевчук О.О., Поляков В.Л., Панасюк І.В., Клапцов Ю.В.; опубл. в бюл. Промислова власність. – 2010. -- № 8, від 26.04. 2010.

Надійшла 12.07.2010