



УКРАЇНА

(19) UA (11) 90404 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
C02F 9/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ РЕАГЕНТНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

1

(21) а200814583

(22) 18.12.2008

(24) 26.04.2010

(46) 26.04.2010, Бюл.№ 8, 2010 р.

(72) ШЕВЧУК ОЛЕНА ОЛЕКСАНДРІВНА, ПОЛЯКОВ ВАДИМ ЛЕОНТІЙОВИЧ, ПАНАСЮК ІГОР ВАСИЛЬОВИЧ, КЛАПЦОВ ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЇ ВОДИ ІМ. А.В.ДУМАНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) SU 1833350 A3, 07.08.1993 увесь документ

SU 1632950 A1, 07.03.1991 увесь документ

SU 1745691 A1, 07.07.1992 увесь документ

RU 2218310 C1, 10.12.2003 увесь документ

US 3725263, 03.04.1973 увесь документ

US 6241896 B1, 05.06.2001 увесь документ

(57) Спосіб реагентного очищення води, що включає багатоступеневе фільтрування через послідовно з'єднані 1, 2, ... N фільтри з зернистим завантаженням, визначення оптимальної дози коагулянту  $D_{\text{копт}}$  із розбивкою її на частини і введення останніх перед фільтрами, який **відрізняється** тим, що частину оптимальної дози коагулянту, що вводять перед 1, 2, ... N-им фільтрами, визначають шляхом побудови залежностей якості очищеної води від введеної частини дози, розби-

2

ваючи оптимальну дозу коагулянту на частини а ( $a_1, a_2, \dots, a_n$ ), б ( $b_1, b_2, \dots, b_n$ ), ... л ( $l_1, l_2, \dots, l_n$ ),  $K(K_1, K_2, \dots, K_n)$ , причому максимальне число частин доз  $k=N$ , вибирають n проб вихідної води і в кожну пробу вихідної води вводять частину оптимальної дози коагулянту а ( $a_1, a_2, \dots, a_n$ ), при дозі  $a_1=0, a_n=D_{\text{копт}}$ , фільтрують і в отриманому фільтраті  $F_A$  визначають залежність А - якість фільтрату  $F_A$  від введеної а частини оптимальної дози коагулянту, потім в проби (n-1) фільтрату  $F_A$  вводять частину оптимальної дози коагулянту б ( $b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ ) від залишка дози коагулянту [ $D_{\text{копт}}-(a_1 \dots a_{n-1})$ ], фільтрують і в отриманому фільтраті  $F_B$  визначають залежність Б - якість фільтрату  $F_B$  від введеної дози коагулянту б, при цьому в проби (n-x) отриманого фільтрату  $F_l$  вводять фінішну частину оптимальної дози к ( $k_1, k_2, \dots, k_{(n-x)}$ ) - залишок оптимальної дози коагулянту [ $D_{\text{копт}}-(a+b+\dots+l)$ ], фільтрують і в отриманій очищеній воді визначають залежність К - якість очищеної води від введеної частини до оптимальної дози коагулянту, за залежністю А вибирають доцільну частину оптимальної дози коагулянту, який вводять перед першим і останнім фільтрами, а за залежностями Л і К визначають раціональний розподіл оптимальної дози коагулянту, що подають на фільтри 1, 2, ... N.

Винахід відноситься до галузі обробки води, зокрема до реагентного багатоступеневого фільтрування через зернисті завантаження, і може бути використаний при очищенні води для питних і технічних цілей, а також для доочищення стічних вод.

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 ступеня-

ми фільтрів, тобто від місця її введення у схеми послідовно з'єднаних фільтрів.

Необхідну для обробки води дозу коагулянту приймають за методикою визначення дози при контактному освітленні води (Руководство по химическому и технологическому анализу воды. - М.: Стройиздат, 1973. - 273с, С.249) [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, іонного складу дисперсійного середовища, значення рН та інших фі-

(13) C2

(11) 90404

(19) UA

зико-хімічних властивостей (Запольєкий А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. - Л.: Химия. - 1987. - 208с.) [2]. Для матеріалів цієї заявки, заявник під терміном оптимальна доза коагулянту розуміє: "таку найменшу дозу коагулянту, яка використовується для обробки води з наступним контактним фільтруванням через паперовий фільтр, що дозволяє одержати очищену воду у відповідності до обраних критеріїв якості: каламутність - не більш  $0,29\text{мг/дм}^3$ , колірність - не більш 10град., і вміст залишкового алюмінію - менше  $0,1\text{мг/дм}^3$ ".

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.

Відомий спосіб очищення води оз. Юлемисте з невеликою кількістю мінеральних завислих домішок, але з періодичним (сезонним) збільшенням концентрації суспензії за рахунок вмісту планктону (Кыйв А.Я., Коар Э.Р., Лейк Э.Я. Двухступенная фильтрация маломутных вод // Труды Таллиннского политехнич. института. Сборник статей по санитарной технике VIII. - 1972. - №330. - С.21-27) [3]. Спосіб [3] полягає у визначенні оптимальної дози коагулянту і розподілі величини цієї дози 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 2,0-2,5м при роботі фільтру  $\geq 8$  годин, при цьому фільтри другого ступеню не є перевантаженими і забезпечують якісний фільтрат відповідно до вимог (ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством") [4] протягом усієї тривалості їхньої роботи, що складає 8-12 годин відповідно до вимог (СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. - М: Стройиздат, 1985. - с.136) [5].

Недоліком способу [3] 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  $150 \times 150\text{мм}$ , висотою більше 4м, обладнані пробовідбірними кранами через 0,4м по висоті і завантажені зернистими фільтруючими матеріалами з товщиною шару - 2м. 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 ГОСТ [4].

Найбільш близьким аналогом до винаходу є спосіб реагентного очищення колірних малокаламутних вод на спорудах двоступеневого фільтрування (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) [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  $10-18\text{мг/дм}^3$ , а також низькими показниками лужності  $0,4-0,9\text{мг-экв/дм}^3$  і температури  $0,1-0,3^\circ\text{C}$  (листопад - травень). Сутність способу [6] полягає у визначенні оптимальної дози коагулянту для цієї вихідної води згідно [1], і у встановленні режиму роздільного введення частин оптимальної дози перед двома ступенями фільтрів за методикою проведення технологічних досліджень і визначення допустимих параметрів роботи споруд двоступеневого фільтрування згідно з (Рекомендации на применение технологии очистки воды двухступенчатым фильтрованием // М: ОНТИ АКХ им. К.Д.Памфилова, 1983. - 24с.) [7]. Зазначена методика полягає у виконанні технологічних досліджень на двох фільтрувальних колонках: перша - діаметром 200мм, висотою 4м з товщиною зернистого шару 2м імітує роботу фільтрів першого ступеню, друга - діаметром 50-100мм, висотою 3м з товщиною шару завантаження 1,5м імітує роботу другого ступеню. Забезпечується можливість роздільного введення реагентів перед фільтрами першого і другого ступенів. Як впливає із сутності способу [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. У ході дослідів фіксують якість фільтрату на виході з першої і другої колонки та втрати напору в їхніх зернистих завантаженнях. Дослід продовжують доти, поки якість фільтрату після другого ступеню задовольняє вимогам ГОСТ [4].

Для вихідної води з колірністю 120град., і каламутністю  $1,8\text{мг/дм}^3$ , оптимальна доза коагулянту, що визначена з [1], складає  $40\text{мг/дм}^3$  по  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . На водоочисній станції продуктивністю  $50\text{тис.м}^3/\text{добу}$ , попереднє освітлення води відбувається на 12 контактних префільтрах першого ступеню з корисною площею  $39,6\text{м}^2$  кожний, що працюють з лінійною швидкістю фільтрування  $5\text{м/год}$ , та відключаються на промивку при каламутності фільтрату, що досягає  $20\text{мг/дм}^3$ . Потім фі-

нішне очищення провадиться на 10 швидких піщаних фільтрах другого ступеню з корисною площею 39,6м<sup>2</sup>, що працюють з лінійною швидкістю фільтрування 7м/год., які повинні забезпечувати якість очищеної води у відповідності до вимог ГОСТ [4]. При роздільному введенні коагулянту достатньо подати на перший ступінь 20мг/дм<sup>3</sup>, а на другий ступінь 5мг/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, тобто сумарна необхідна доза коагулянту дорівнює 25мг/дм<sup>3</sup>, а співвідношення доз, що подаються на перший і другий ступені складає: (4:1). При очищенні вихідної води з колірністю 120град., і каламутністю 1,8мг/дм<sup>3</sup> шляхом уведення 80% дози коагулянту перед контактними префільтрами (першого ступеню) і 20% перед швидкими фільтрами (другого ступеню) отримана якість очищеної води задовольняла вимогам ГОСТ [4], а технологічні показники роботи фільтрів відповідали вимогам [5].

Слід зазначити, що величина вмісту залишкового алюмінію у питній воді на рівні до 0,5мг/дм<sup>3</sup> (ГОСТ [4]) не відповідає значенню 0,2мг/дм<sup>3</sup>, що регламентується в (ДСанПіН 383-96 Вода питна, гігієнічні вимоги до якості централізованого господарсько-питного постачання) [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 здоров'я людей.

При зміні показників вихідної води (р. Вичегди), наприклад, при підвищенні колірності до 160град., дані щодо розподілу частин оптимальної дози коагулянту не наведені. Для визначення ефективності способу [6] при очищенні висококолірної води нами були виконані досліді з використанням розподілу оптимальної дози коагулянту 80:20. Для вихідної води (№1) з колірністю 160град., каламутністю 18мг/дм<sup>3</sup>, лужністю 0,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>, рН=7,1, t=13°C (графа 3, табл. 1) за методикою [1] була визначена оптимальна доза коагулянту D<sub>копт</sub>=50мг/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. На лабораторній установці, що імітує двоступеневе фільтрування за

методом [7], воду перед першою фільтрувальною колонкою обробляли дозою коагулянту 40мг/дм<sup>3</sup> і перед другим ступенем - 10мг/дм<sup>3</sup>. Показники очищеної води представлені в графі 4 табл. 1, вони відповідають вимогам нормативів по колірності, але не відповідають вимогам по каламутності та величині вмісту залишкового алюмінію [8].

При таких підвищених навантаженнях на фільтрувальні споруди не забезпечується необхідна тривалість фільтроциклу фінішного ступеню очищення, вона складає 5,66год., що вимагає проведення чотирьох промивок зернистого завантаження кожного фільтра за добу, росте витрата води на промивки і зменшується корисна продуктивність станції очищення.

Очевидна необхідність корегування розподілу оптимальної дози коагулянту між ступенями фільтрів у залежності від зміни якості вихідної води, що не враховується у способі [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,
- реалізація способу [6] не дозволяє 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, приводить 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.

Таблиця 1

№	Технологічні показники якості води і роботи фільтрів	Вихідна вода №1	Очищена вода		ДСанПіН[8] ГОСТ [4] СНП [5]
			відомим способом [6] розбивка D <sub>копт</sub> (80:20), %	запропонованим способом (приклад 2), розбивка D <sub>копт</sub> (50:50), %	
1	2	3	4	5	6
1	Колірність, град.	160	20	15	20 [4], [8]
2	Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	18	1,61	0,28	0,5 НОМ [8] (0,29мг/дм <sup>3</sup> ) 1,5 [4]
3	Залишковий Al <sup>3+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,06	0,6	0,2	0,2 [8], 0,5 [4]
4	Лужність, мг-екв./дм <sup>3</sup>	0,8	0,58	0,65	0,5-6,5[8]
5	рН	7,4	6,5	6,7	6,5-8,5[8] 6-9 [4]
6	Тривалість роботи фільтрів другого ступеню, год.		5,66	8,22	не менш 8-12год [5]
7	Втрати напору в фільтрі другого ступеню, h, м		2,1	3,3	h <sub>макс</sub> =3-3,5 м [5]
8	Кількість промивок другого ступеню, шт./добу		4	3	

Слід також зазначити, що у 512 способі [6] використовуються двоступеневі фільтрувальні споруди, а для багатоступеневих схем, наприклад, триступеневих, потрібно проведення технологічних досліджень на трьох фільтрувальних колонках, які імітують три ступені очищення. При цьому складність і трудомісткість обслуговування трьох фільтрів, кількість проб для відбору й аналізу істотно зростає.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалити 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 від уведеної частини  $D_{\text{копт}}$ , 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, забезпечення економії промивної води і збільшення корисної продуктивності фільтрувальної станції,
- гарантія одержання високої якості питної води відповідно до сучасних вимог згідно ДСанПІН [8].

Для вирішення поставленої задачі запропоновано спосіб реагентного очищення води, що включає багатоступеневе фільтрування через послідовно з'єднані 1, 2,...N фільтри з зернистим завантаженням, визначення оптимальної дози коагулянту  $D_{\text{копт}}$  із розбивкою її на частини і введення останніх перед фільтрами, в якому, відповідно до винаходу, частину оптимальної дози коагулянту, що вводиться перед 1, 2,...N-им фільтрами, визначають шляхом побудови залежності якості очищеної води від уведеної частини дози, розбиваючи оптимальну дозу коагулянту на частини  $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,  $b(b_1, b_2, \dots, b_n)$ ,  $\dots, l(l_1, l_2, \dots, l_n)$ ,  $k(k_1, k_2, \dots, k_n)$ , причому максимальне число частин доз  $k=N$ , вибирають  $n$  проб вихідної води й у кожну пробу вихідної води вводять частину оптимальної дози коагулянту  $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , при дозі  $a_1=0$ ,  $a_n=D_{\text{копт}}$ , фільтрують і в отриманому фільтраті  $F_A$  визначають залежність  $A$  - якість фільтрату  $F_A$  від уведеної частини оптимальної дози коагулянту, потім у проби  $(n-1)$  фільтрату  $F_A$  вводять частину оптимальної дози коагулянту  $b(b_1, b_2, \dots, b_{n-1})$  від залишку дози коагулянту  $[D_{\text{копт}}-(a_1 \dots a_{n-1})]$ , фільтрують і в отриманому фільтраті  $F_B$  визначають залежність  $B$

- якість фільтрату  $F_B$  від уведеної дози коагулянту  $b$ , при цьому в проби  $(n-x)$  отриманого фільтрату  $F_L$  вводять фінішну частину оптимальної дози  $k(k_1, k_2, \dots, k_{(n-x)})$  - залишок оптимальної дози коагулянту  $[D_{\text{копт}}-(a+b+\dots+l)]$ , фільтрують і в отриманій очищеній воді визначають залежність  $K$  - якість очищеної води від уведеної частини до оптимальної дози коагулянту, за залежністю  $A$  вибирають доцільну частину оптимальної дози коагулянту, яку вводять перед першим і останнім фільтрами, а за залежностями  $L$  і  $K$  визначають раціональний розподіл оптимальної дози коагулянту, що подають на фільтри 1, 2, ..., N.

Нами запропоновано визначення раціонального розподілу частин оптимальної дози коагулянту для вихідної води здійснювати з використанням лабораторних ємностей і фільтрування через паперові фільтри, що імітують роботу зернистих фільтрів. При цьому витрати праці і часу істотно зменшуються у порівнянні з дослідом за методикою [7], а також у порівнянні з дослідженнями на водоочисних спорудах. За рахунок експресності досягається гнучке реагування на зміни якості вихідної води, а також корегування режиму введення частин оптимальної дози коагулянту перед окремими фільтрами, що дозволяє збільшити тривалість фільтроциклу і тим самим зменшити кількість промивок, заощадити промивну воду і підвищити продуктивність станції очищення, а також максимально низити каламутність і вміст залишкового алюмінію у питній воді.

Приклади виконання за винаходом.

Приклад 1.

Очищенню піддають природну воду р. Уж з такими параметрами: колірність 210град., каламутність  $4,4 \text{ мг/дм}^3$ , лужність  $1,3 \text{ мг-екв/дм}^3$ ,  $\text{pH}=7,25$ ,  $t=15^\circ\text{C}$ , вміст іонів алюмінію  $0,06 \text{ мг/дм}^3$ .

Спочатку для зазначеної вихідної води визначають значення оптимальної дози коагулянту за методикою [1]. Як коагулянт використовують сульфат алюмінію: 1% розчин готують у розрахунок на безводний сульфат алюмінію  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Значення оптимальної дози реагенту для даної води:  $D_{\text{копт}}=60 \text{ мг/дм}^3$ .

Потім виконують експрес-методику визначення раціонального розподілу оптимальної дози коагулянту між фільтрами у триступеневій фільтрувальній установці ( $N=3$ ). Максимально можливе число частин доз ( $k$ ) дорівнює кількості ступеней фільтрів ( $N$ ), тобто  $k=3$ . Вибирають крок зміни частин  $D_{\text{копт}}$ , що вводиться, наприклад 10%, тоді кількість проб:  $n=11$ . Запропонований розподіл частин оптимальної дози представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

Ступені фільтрів	Номер проби вихідної води (n)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Частина оптимальної дози коагулянту, введена у кожну пробу, % від $D_{\text{копт}}$										
Перший (a)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Другий (б)	80	70	60	50	40	30	20	20	10	10	-
Третій (к)	20	20	20	20	20	20	20	10	10	-	-

В одинадцять конічних колб наливають по  $500\text{см}^3$  вихідної води, потім у ці проби додають різну кількість мілілітрів 1% розчину сульфату алюмінію з розрахунку одержання різних частин від оптимальної дози коагулянту ( $D_{\text{копт}}=60\text{мг/дм}^3$ ), а саме: у першу не вносять реагент ( $a_1=0$ ), у другу вносять  $a_2=0,3\text{см}^3$  (10% від  $D_{\text{копт}}$ ), у третю -  $a_3=0,6\text{см}^3$  (20% від  $D_{\text{копт}}$ ), у четверту -  $a_4=0,9\text{см}^3$  (30% від  $D_{\text{копт}}$ ), у п'яту -  $a_5=1,2\text{см}^3$  (40% від  $D_{\text{копт}}$ ), у шосту -  $a_6=1,5\text{см}^3$  (50% від  $D_{\text{копт}}$ ), у сьому -  $a_7=1,8\text{см}^3$  (60% від  $D_{\text{копт}}$ ), у восьму -  $a_8=2,1\text{см}^3$  (70% від  $D_{\text{копт}}$ ), у дев'яту -  $a_9=2,4\text{см}^3$  (80% від  $D_{\text{копт}}$ ), у десятую -  $a_{10}=2,7\text{см}^3$  (90% від  $D_{\text{копт}}$ ), в одинадцяту колбу -  $a_{11}=3,0\text{см}^3$  (100%  $D_{\text{копт}}$ ). Вміст колб ретельно перемішують і воду фільтрують через промиті дистильованою водою паперові фільтри з діаметром пор 3 нм, що імітують перший ступінь фільтрування. Отриманий фільтрат  $F_A$  перемішують і відбирають по  $100\text{см}^3$  з кожної колби для аналізу. За результатами аналізу будують криві залежності А якості фільтрату за колірністю ( $A_{\text{ц}}$ ), каламутністю ( $A_{\text{м}}$ ) і за вмістом залишкового алюмінію ( $A_{\text{А}}$ ) у фільтраті  $F_A$  від уведеної частини оптимальної дози коагулянту  $D_{\text{копт}}$ , що представлені на Фіг.1, Фіг.2 і на Фіг.3, відповідно.

За кривими залежностей  $A_{\text{ц}}$ ,  $A_{\text{м}}$ ,  $A_{\text{А}}$  вибирають частину оптимальної дози коагулянту, що доцільно вводити перед першим і останнім фільтрами у багатоступеневих установках. Для встановлення частини оптимальної дози коагулянту, що доцільно вводити перед першим фільтром, на кожній кривій ( $A_{\text{ц}}$ ,  $A_{\text{м}}$ ,  $A_{\text{А}}$ ) спочатку визначають значення частини дози, введення якої викликає різке падіння стабільності дисперсної системи. Величина зазначеної частини дози лежить на кривих між значеннями порогу коагуляції (мінімального значення дози коагулянту, що викликає початок падіння стабільності дисперсної системи)  $D_{\text{пк}}=24\text{мг/дм}^3$  (складає 40% від  $D_{\text{копт}}$ ) до точки перегину від опуклої до увігнутої частини кривої, що відповідає  $D_{\text{тп}}=36\text{мг/дм}^3$  (60% від  $D_{\text{копт}}$ ), тобто а складає 40-60% від  $D_{\text{копт}}$  (24-36мг/дм<sup>3</sup>).

Перед третім (фінішним) ступенем очищення необхідно ввести таку частину оптимальної дози коагулянту ( $D_{\text{кф}}$ ), що забезпечує стабільно високу якість очищеної води. Для визначення дози  $D_{\text{кф}}$  до криволінійної ділянки наприкінці кожної кривої ( $A_{\text{ц}}$ ,  $A_{\text{м}}$ ,  $A_{\text{А}}$ ) проводять дотичну і визначають точку дотику, їй відповідає значення дози коагулянту  $D_{\text{кф}}=48\text{мг/дм}^3$ , що складає 80% від  $D_{\text{копт}}$ ; при введенні коагулянту більше 90% від  $D_{\text{копт}}$  якість фільтрату практично не змінюється, у такий спосіб  $D_{\text{кф}}$  складає 80-90% від  $D_{\text{копт}}$ . Отже, частина дози, що вводиться перед третім ступенем складає 10-20% від  $D_{\text{копт}}$ , тобто к дорівнює 6-12мг/дм<sup>3</sup>.

Потім у десять колб (п-1) з фільтратом  $F_A$ , за винятком останньої проби, в яку було введено 100% оптимальної дози  $a_{11}=D_{\text{копт}}$ , вводимо частину оптимальної дози коагулянту з урахуванням зміни обсягу проби  $V_5=400\text{см}^3$ : у першу пробу вносять  $b_1=1,92\text{см}^3$  (80% від  $D_{\text{копт}}$ ), у другу -  $b_2=1,68\text{см}^3$

(70% від  $D_{\text{копт}}$ ), у третю -  $b_3=1,44\text{см}^3$  (60% від  $D_{\text{копт}}$ ), у четверту -  $b_4=1,2\text{см}^3$  (50% від  $D_{\text{копт}}$ ), у п'яту -  $b_5=0,96\text{см}^3$  (40% від  $D_{\text{копт}}$ ), у шосту -  $b_6=0,72\text{см}^3$  (30% від  $D_{\text{копт}}$ ), у сьому -  $b_7=0,48\text{см}^3$  (20% від  $D_{\text{копт}}$ ), у восьму -  $b_8=0,48\text{см}^3$  (20% від  $D_{\text{копт}}$ ), у дев'яту -  $b_9=0,24\text{см}^3$  (10% від  $D_{\text{копт}}$ ), у десятую -  $b_{10}=0,24\text{см}^3$  (10% від  $D_{\text{копт}}$ ). Вміст колб ретельно перемішують і воду фільтрують через промиті дистильованою водою паперові фільтри з діаметром пор 3 нм, ці фільтри імітують другий ступінь фільтрування. Отриманий фільтрат  $F_B$  перемішують і відбирають по  $100\text{см}^3$  з кожної колби для аналізу. Результати аналізу представляють у вигляді кривих залежностей Б - якості фільтрату  $F_B$  за колірністю ( $B_{\text{ц}}$ ), мутністю ( $B_{\text{м}}$ ), вмістом залишкового алюмінію ( $B_{\text{А}}$ ) від уведеної (б) частини оптимальної дози коагулянту (Фіг.1, Фіг.2, Фіг.3 відповідно).

Далі у дев'ять колб (п-2) з фільтратом  $F_B$ , за винятком останньої проби, в яку було введено 100% оптимальної дози  $a_{10}+b_{10}=D_{\text{копт}}$ , вводимо залишок оптимальної дози коагулянту [ $D_{\text{копт}} - (a+b)$ ] з урахуванням зміни обсягу проби  $V_k=300\text{см}^3$ : у першу і по сьому пробу вносять  $k_1=k_2=k_3=k_4=k_5=k_6=k_7=0,36\text{см}^3$  (20% від  $D_{\text{копт}}$ ), у восьму й у дев'яту проби -  $k_8=k_9=0,18\text{см}^3$  (10% від  $D_{\text{копт}}$ ). Вміст колб ретельно перемішують і воду фільтрують через промиті дистильованою водою паперові фільтри з діаметром пор 3 нм, ці фільтри імітують третій ступінь фільтрування. Отриманий фільтрат  $F_K$  перемішують і відбирають по  $100\text{см}^3$  з кожної колби для аналізу.

За результатами аналізу будують криві залежності К за колірністю ( $K_{\text{ц}}$ ), каламутністю ( $K_{\text{м}}$ ) і вмістом залишкового алюмінію ( $K_{\text{А}}$ ) у фільтраті  $F_K$  від уведеного залишку (к) оптимальної дози коагулянту (Фіг.1-3). Проводять аналіз кривих якості фільтрату після другого ступеню Б і третього ступеню К. Найкраща якість фільтрату на кривих Б (передостанньої) і К (фінішного) ступеней очищення, забезпечується наступним розподілом оптимальної дози коагулянту ( $60\text{мг/дм}^3$ ) між трьома ступенями фільтрів, що складає 60:20:20 (у % від  $D_{\text{копт}}$ ), тобто перед першим ступенем вводять  $36\text{мг/дм}^3$ , перед другим ступенем  $12\text{мг/дм}^3$ , перед третім ступенем  $12\text{мг/дм}^3$ .

Отримані результати були перевірені експериментально на стендовій лабораторній установці триступеневого фільтрування. Технологічні характеристики фільтрів і умови проведення процесу фільтрування були прийняті відповідно до рекомендацій [7]. Для зазначеної вихідної води розподіл оптимальної дози коагулянту в співвідношенні 60:20:20 (у % від  $D_{\text{копт}}$ ) між трьома фільтрами є раціональним, оскільки гарантує високі показники якості очищеної води: колірність 10-15град., каламутність 0,1-0,29мг/дм<sup>3</sup>, залишковий алюміній 0,07-0,2мг/дм<sup>3</sup>, лужність 0,8мг-екв/дм<sup>3</sup>, рН=6,6 і забезпечує тривалість фільтроциклу третього ступеня очищення 13,6 год, а також втрати напорів 2,7м (див. графу 4 у табл. 3).

Таблиця 3

№	Технологічні показники якості води і роботи фільтрів	Вихідна вода	Очищена вода після трьох ступенів	Нормативи ДСанПІН[8] ГОСТ [4] СНиП [5]
1	2	3	4	5
1	Колірність, град.	210	10-15	20 [4], [8]
2	Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	4,4	0,1-0,29	0,5 НОМ (0,29мг/дм <sup>3</sup> ) [8], 1,5 [4]
3	Залишковий Al <sup>3+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,06	0,07-0,2	0,2 [8], 0,5 [4]
4	Лужність, мг-екв./дм <sup>3</sup>	1,3	0,8	0,5-6,5[8]
5	pH	7,25	6,6	6,5-8,5[8] 6-9 [4]
6	тривалість роботи фільтрів третього ступеню, год		13,6	не менш 8-12 год [5]
7	втрати напору в фільтрі першого ступеню, h, м		2,7	h <sub>макс</sub> =3-3,5 м [5]

## Приклад 2.

Аналогічно прикладу 1 були виконані дослід з визначення раціонального режиму розподілу частин оптимальної дози коагулянту для вихідної води (№1, р.Вичегда) (графа 3, табл. 1). За методикою [1] була визначена оптимальна доза коагулянту  $D_{\text{копт}}=50\text{мг/дм}^3$  по  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Потім виконують експрес-методику визначення раціонально-

го розподілу оптимальної дози коагулянту між фільтрами у двоступеневій фільтрувальній установці ( $N=2$ ). Максимально можливе число частин доз ( $k$ ) дорівнює кількості ступеней фільтрів ( $N$ ), тобто  $k=2$ . Вибирають крок зміни частин  $D_{\text{копт}}$ , що вводиться, наприклад 10%, тоді кількість проб:  $n=11$  і запропонований розподіл частин оптимальної дози представлено у таблиці 4.

Таблиця 4

Ступені фільтрів	Номер проби вихідної води (n)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Частина оптимальної дози коагулянту, введена у кожен пробу, % від $D_{\text{копт}}$										
Перший (а)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Другий (к)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	-

В одинадцять конічних колб наливають по  $500\text{см}^3$  вихідної води, потім у ці проби додають різну кількість мілілітрів 1% розчину сульфату алюмінію з розрахунку одержання різних частин від оптимальної дози коагулянту ( $D_{\text{копт}}=50\text{мг/дм}^3$ ), а саме: у першу не вносять реагент ( $a_1=0$ ), у другу вносять  $a_2=0,25\text{см}^3$  (10% від  $D_{\text{копт}}$ ), у третю -  $a_3=0,5\text{см}^3$  (20% від  $D_{\text{копт}}$ ), у четверту -  $a_4=0,75\text{см}^3$  (30% від  $D_{\text{копт}}$ ), у п'яту -  $a_5=1,0\text{см}^3$  (40% від  $D_{\text{копт}}$ ), у шосту -  $a_6=1,25\text{см}^3$  (50% від  $D_{\text{копт}}$ ), у сьому -  $a_7=1,5\text{см}^3$  (60% від  $D_{\text{копт}}$ ), у восьму -  $a_8=1,75\text{см}^3$  (70% від  $D_{\text{копт}}$ ), у дев'яту -  $a_9=2,0\text{см}^3$  (80% від  $D_{\text{копт}}$ ), у десяту -  $a_{10}=2,25\text{см}^3$  (90% від  $D_{\text{копт}}$ ), в одинадцяту колбу -  $a_{11}=2,5\text{см}^3$  (100%  $D_{\text{копт}}$ ). Потім фільтрування через паперові фільтри, відбір по  $100\text{см}^3$  води з кожної проби, і її аналіз виконують аналогічно прикладу 1. За результатами аналізу будують криві залежності А якості фільтрату за колірністю ( $A_{\text{ц}}$ ), каламутністю ( $A_{\text{м}}$ ) і вмістом залишкового алюмінію ( $A_{\text{Al}}$ ) у фільтраті  $F_{\text{А}}$  від уведеної а частини оптимальної дози коагулянту  $D_{\text{копт}}$ , які представлені на Фіг.4, Фіг.5 і на Фіг.6, відповідно.

За кривими залежностей  $A_{\text{ц}}$ ,  $A_{\text{м}}$ ,  $A_{\text{Al}}$  вибирають частину оптимальної дози коагулянту, що доцільно ввести перед першим фільтром. Вибір значеної дози здійснюється аналогічно прикладу 1. На кожній кривій ( $A_{\text{ц}}$ ,  $A_{\text{м}}$ ,  $A_{\text{Al}}$ ) визначаємо значення частини дози, що викликає різке падіння стабільності дисперсної системи, воно лежить на кривих між значеннями порогу коагуляції  $D_{\text{пк}}=20\text{мг/дм}^3$  (40%

від  $D_{\text{копт}}$ ) до точки перегину від опуклої до увігнутої частини кривої, що відповідає  $D_{\text{тп}}=30\text{мг/дм}^3$  (60% від  $D_{\text{копт}}$ ), тобто а складає  $20-30\text{мг/дм}^3$  (40-60% від  $D_{\text{копт}}$ ).

Залишок оптимальної дози  $k=(D_{\text{копт}}-a)$  вводять перед другим (фінішним) фільтром у двоступеневій установці. Для цього в десять колб ( $n-1$ ) з фільтратом  $F_{\text{А}}$ , за винятком останньої проби, в яку було введено 100% оптимальної дози, вводимо залишок оптимальної дози коагулянту з урахуванням зміни обсягу проби  $V_6=400\text{см}^3$ : у першу пробу вносять  $b_1=2,0\text{см}^3$  (100% від  $D_{\text{копт}}$ ), у другу -  $b_2=1,8\text{см}^3$  (90% від  $D_{\text{копт}}$ ), у третю -  $b_3=1,6\text{см}^3$  (80% від  $D_{\text{копт}}$ ), у четверту -  $b_4=1,4\text{см}^3$  (70% від  $D_{\text{копт}}$ ), у п'яту -  $b_5=1,2\text{см}^3$  (60% від  $D_{\text{копт}}$ ), у шосту -  $b_6=1,0\text{см}^3$  (50% від  $D_{\text{копт}}$ ), у сьому -  $b_7=0,8\text{см}^3$  (40% від  $D_{\text{копт}}$ ), у восьму -  $b_8=0,6\text{см}^3$  (30% від  $D_{\text{копт}}$ ), у дев'яту -  $b_9=0,4\text{см}^3$  (20% від  $D_{\text{копт}}$ ), у десяту -  $b_{10}=0,2\text{см}^3$  (10% від  $D_{\text{копт}}$ ). Роблять перемішування, фільтрування проб через паперові фільтри і їхній аналіз відповідно до прикладу 1.

За результатами аналізу будують криві залежності К за колірністю ( $K_{\text{ц}}$ ), каламутністю ( $K_{\text{м}}$ ) і вмістом залишкового алюмінію ( $K_{\text{Al}}$ ) у фільтраті  $F_{\text{к}}$  від уведеного залишку (к) оптимальної дози коагулянту (Фіг.4-6). Аналіз цих кривих показує, що найкраща якість фільтрату після другого етапу фільтрування забезпечується розподілом оптимальної дози коагулянту в співвідношенні 50:50 (у % від

$D_{\text{копт}}$ ), тобто перед першим ступенем вводять  $25\text{мг/дм}^3$  і перед другим ступенем  $25\text{мг/дм}^3$ .

Результати були апробовані експериментально на стендовій лабораторній установці двоступеневого фільтрування. Для зазначеної вихідної води розподіл оптимальної дози коагулянту в співвідношенні 50:50 (у % від  $D_{\text{копт}}$ ) між двома ступенями фільтрів є раціональним, оскільки гарантує високі показники якості очищеної води (графа 5, табл. 1): колірність 15 град., каламутність  $0,28\text{мг/дм}^3$ , залишковий алюміній  $0,2\text{мг/дм}^3$ , лужність  $0,65\text{мг-екв/дм}^3$ ,  $\text{pH}=6,7$ , а також забезпечує тривалість фільтроциклу фільтру другого ступеню - 8,22 години та втрати напору в його зернистому завантаженні 3,3 м, що відповідає вимогам нормативних документів. При такій тривалості фільтроциклу необхідно проведення трьох промивок швидких фільтрів на добу.

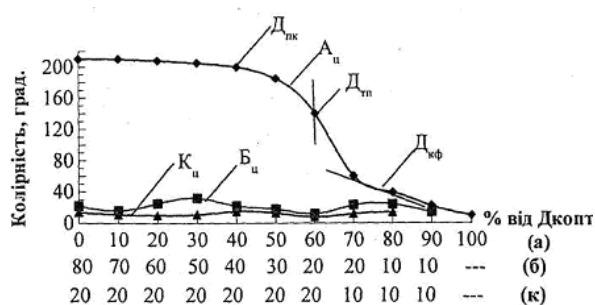
Порівняльний аналіз якості очищеної води і технологічних показників роботи фільтрів запропонованим способом (табл. 1, графа 5) і відомим способом (табл. 1, графа 4) показує:

- реалізація запропонованого способу забезпечує одержання якості питної води відповідно до сучасних вимог ДСанПіН [8], що не досягається

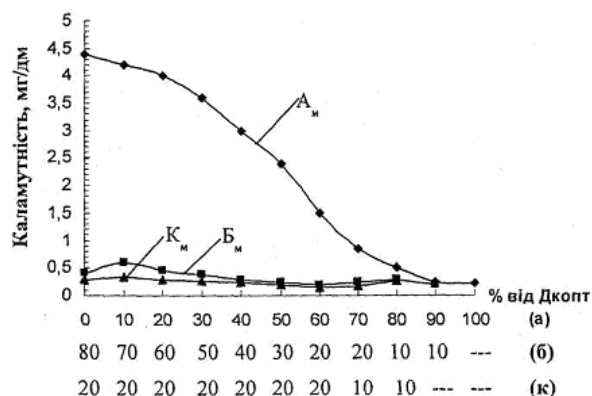
відомим способом у відношенні таких показників як каламутність і залишковий алюміній. Такі результати досягаються за рахунок використання запропонованої експресної методики визначення раціонального режиму реагентної обробки води, тобто вибору частини оптимальної дози коагулянту, що вводиться перед ступенями фільтрів. Це забезпечує корегування реагентної обробки води в залежності від параметрів вихідної води.

У результаті ефективність роботи фільтрів у двоступеневій установці по такому параметру як тривалість експлуатації фільтрів другого ступеню зростає в 1,4 рази.

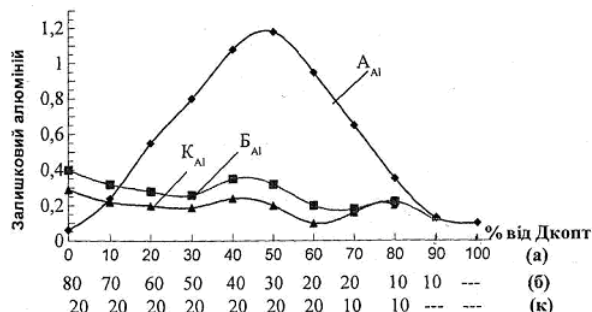
На станції двоступеневого фільтрування, представленої у відомому способі [6], для 10 швидких фільтрів другого ступеню корисною площею  $39,6\text{м}^2$  при проведенні чотирьох промивок кожного фільтру на добу витрата промивної води складе  $12784\text{м}^3$ , тобто 23,8% від корисної продуктивності станції, при зниженні кількості промивань до трьох на добу для кожного фільтру витрата промивної води складе  $9588\text{м}^3$ , тобто 16,8% від корисної продуктивності станції. Таким чином спосіб дозволяє в 1,07-1,1 рази збільшити корисну продуктивність станції двоступеневого фільтрування.



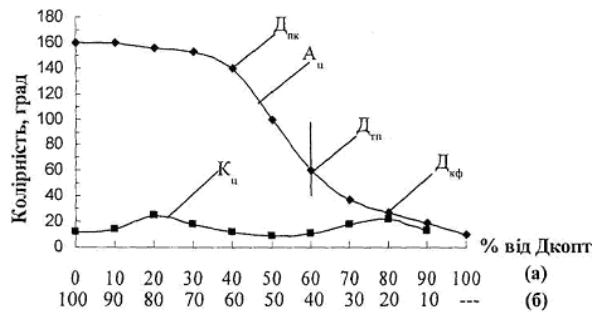
Фіг. 1



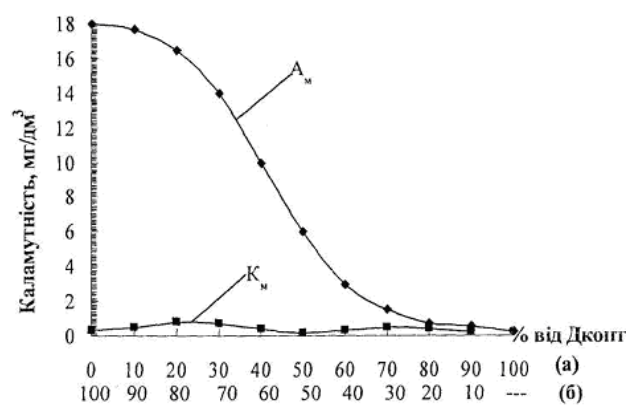
Фіг. 2



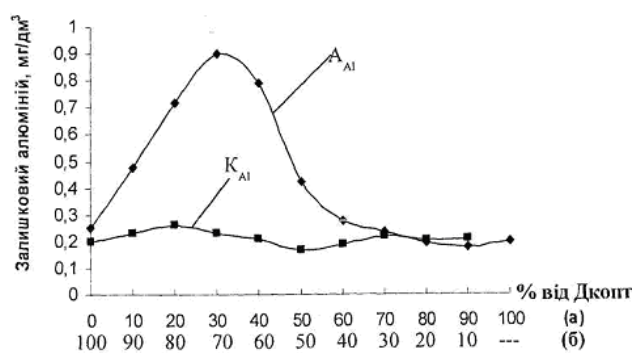
Фіг. 3



Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6