

С.С. Душкін

Національний університет цивільного захисту України, Україна

## КОНТАКТНІ ПРОЯСНЮВАЧІ В ПРОЦЕСАХ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ

*В статті розглядаються питання підготовки питної води на контактних прояснювачах. Вони працюють за принципом фільтрування у напрямку спадної крупності зерен через шар завантаження великої товщини, що відбувається при фільтруванні води через зернисте завантаження.*

*Для інтенсифікації підготовки питної води запропонована ресурсозберігаюча технологія з використанням модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію.*

**Ключові слова:** контактна коагуляція, контактні прояснювачі, питна вода, фільтрування, контактне середовище, коагулянт.

### Постановка проблеми

Охорона навколишнього природного середовища одна із найважливіших проблем сучасності. Рациональне використання водних ресурсів, очищення природних та стічних вод набувають особливо актуального значення, оскільки вони пов'язані нерозривною ниткою з охороною природних вод від забруднень [1].

Одним із поширених методів очищення води від грубодисперсних та колоїдних забруднень є метод обробки води коагулянтами, який вимагає пошуку шляхів до його удосконалення, а саме підвищення швидкості формування та випадання коагульованих зависей в осад. Недоліком даного методу є велика витрата реагентів при несприятливих умовах коагуляції: недостатня лужність, висока забарвленість води та низька температура води, що прояснюється в осінньо-зимовий періоди року [2, 3].

Були проведені дослідження процесу коагуляції зависі на зернах фільтруючого завантаження. В результаті досліджень встановлено, що на відміну від коагуляції, яка зазвичай використовуються в техніці водоочищення у вільному об'ємі (в камерах утворення пластівців і відстійниках), коагуляція на контактній поверхні зерен фільтруючого завантаження проходить більш повно, практично не залежить від температури води і може протікати при незначному лужному резерві води. Якщо для коагуляції в об'ємі необхідні дози коагулянту і умови, що забезпечують хороше утворення пластівців, то контактна коагуляція потребує лише дози коагулянту, що викликає астабілізацію наявних у воді завислих та колоїдних частинок.

При правильному підборі умов контактної коагуляції осад, що утворюється на зернах, має більш щільну і міцну структуру, внаслідок чого брудосмістність фільтруючого завантаження може досягати значних величин.

Ці особливості контактної коагуляції дозволили використовувати її для одноступеневого, тобто без попереднього утворення пластівців і відстоювання, очищення води на фільтрувальних спорудах, які отримали найменування контактних прояснювачів. В прояснювачах цього типу принцип фільтрування в напрямку спадання крупності зерен шару, який досягається за рахунок руху води, що оброблюється, в напрямку знизу вгору через шар неоднорідного піску. Це дозволяє знизити темп приросту втрати напору в завантаженні та більш повно використовувати затримаючу здатність фільтруючого завантаження [4].

Найбільшого поширення метод контактного прояснення отримав при очищенні маломутних та забарвлених вод з низьким лужним резервом.

Контактні прояснювачі доцільно застосовувати в одноступінчастих схемах очищення маломутних забарвлених вод, коли загальний вміст завислих речовин у воді, що надходить на контактні прояснювачі, включаючи завись, що утворюється в результаті введення у воду реагентів, не перевищує 150 мг/л. При більшому вмісті зависі у воді різко зростає витрата води на промивання контактних прояснювачів [5, 6].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних даних показує, що зниження екологічної безпеки систем питного водопостачання обумовлюється такими причинами, як зменшення запасу води, погіршення якості природних вод [7, 8].

До основних заходів, що покращують екологічний стан поверхневих джерел водопостачання, можна віднести такі [9]:

- очищення води, що утворюється поверхневим стоком із селітебних територій;
- поліпшення стану зон санітарної охорони;

– захист питних водозаборів від шкідливого впливу тваринницьких, птахівницьких підприємств та інших сільськогосподарських об'єктів, що є потенційним джерелом забруднення води;

– розчищення русел та зміцнення берегів річок та дна водосховищ;

– державний моніторинг стану водних об'єктів, що використовуються як джерело водопостачання.

Екологічні, гігієнічні вимоги щодо якості питної води, а також показники фізіологічної повноцінності визначають придатність її для питних цілей.

Аналіз проектних та експлуатаційних матеріалів очисних споруд водопроводу дозволив встановити, що найбільшого поширення набули такі технологічні схеми прояснення та знебарвлення води:

– схема, що передбачає двоступінчасту обробку води з коагуляцією домішок у вільному об'ємі (камери реакції, відстійники, фільтри);

– схема, що передбачає двоступінчасту обробку води з коагуляцією домішок у обмеженому об'ємі завислого осаду (прояснювачі із завислим осадом, фільтри);

– схема з одноступінчастою обробкою води та використанням контактної коагуляції.

Підвищити ефективність роботи контактних прояснювачів доцільно оптимізацією властивостей контактного середовища, чого можна досягти використанням розробок у таких напрямках:

– поліпшення фізико-хімічних властивостей контактного середовища (гідралічна крупність, питома вага, сили зчеплення частинок);

– підвищення коагулюючої здатності модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію (зміна  $\xi$ -потенціалу та адсорбційної ємності);

– пошук можливості зменшення доз коагулянтів, що вводяться.

Підвищення ефективності роботи контактних прояснювачів очисних споруд водопроводу нині здійснюється, переважно, такими способами:

– шляхом застосування нових фільтруючих матеріалів з добре розвинутою питомою поверхнею зерен та великою пористістю завантаження;

– штучним підвищенням активності поверхні зерен завантаження шляхом нанесення на неї активних молекулярних груп, що збільшують позитивний заряд потенціалу поверхні;

– створенням фільтрів з багатошаровим або неоднорідним одношаровим завантаженням, що забезпечує фільтруванням високомутних вод за спадною крупністю зерен при помірному зростанні втрат напору;

– удосконаленням збірно-розподільних систем фільтрів, домагаючись одночасного підвищення

рівномірності розподілу промивної води площею фільтра, здешевлення конструкції, підвищення її надійності та спрощення технології монтажу;

– удосконаленням технології промивання контактних прояснювачів.

Розгляд опублікованих робіт дозволяє виділити такі методи інтенсифікації процесу прояснення в контактних прояснювачах:

– фільтрування в напрямку спадної крупності зерен завантаження, а також її укрупнення з одночасним збільшенням висоти шару з метою зниження інтенсивності приросту втрат напору за рахунок розосередження забруднень у якомога більшому об'ємі (найбільш вдало це реалізується в контактних прояснювачах);

– застосування різних способів попередньої обробки води з метою збільшення щільності та міцності затримуваних фільтром забруднень, більш рівномірного їх розподілу в товщі шару, що фільтрує;

– застосування для завантаження зернистих матеріалів з високою міжзерною пористістю і розвинутою питомою поверхнею.

Аналіз існуючих методів підвищення ефективності роботи контактних прояснювачів очисних споруд водопроводу показує, що дуже актуальною є розробка нових методів, більш ефективних як по капітальним, так і експлуатаційним витратам, що інтенсифікують процеси контактної коагуляції, до яких відноситься аналізований у цій роботі метод обробки води модифікованим розчином коагулянту, який дозволяє поліпшити якість очищення води, знизити витрати реагентів, зменшити габарити окремих споруд реагентного господарства, знизити собівартість проясненої води та підвищити продуктивність очисних споруд [9, 10].

### Формулювання мети статті

Метою досліджень, викладених у цій статті, є науково-технічне обґрунтування ресурсозберігаючих технологій підготовки питної води на контактних прояснювачах.

Для вирішення поставленого завдання виконані наступні дослідження:

– вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на  $\xi$ -потенціал та адсорбційну ємність гідроксиду алюмінію в процесах очищення води;

– вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на гідралічну крупність коагульованої зависі, каламутність та забарвленість проясненої води;

– зміна сил зчеплення контактного середовища прояснювачів при використанні модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію.

## Виклад основного матеріалу

Основні методичні аспекти проведення досліджень наведено у роботах [11, 12]. Схема ланцюга апаратів під час використання модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію для підвищення ефективності процесів очищення води на контактних прояснювачах наведена на рис. 1.

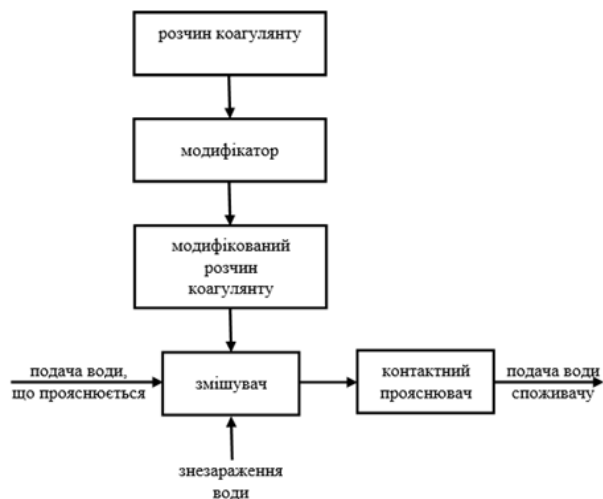


Рис. 1. Схема Ланцюга апаратів

Дослідження виконано з використанням фізико-хімічних методів. Якісна характеристика води, що прояснюється, наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Якісна характеристика води, що прояснюється

Найменування показника	Зимовий період	Період весняного паводку
Температура, °С	2,1 – 2,6	8,1 – 10,3
Вміст завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	22,0 – 35,0	16,5 – 21,2
Забарвленість, град		
ПКШ	28 – 31	35 – 41
pH	7,8 – 8,1	6,8 – 7,1
Лужність	2,4 – 2,6	1,5 – 2,1

Дослідження проводилися на лабораторній установці (рис. 2), що складається з двох прояснювачів 1 з плексигласових труб діаметром 100 мм і заввишки 2,5 м. Прозорі стінки прояснювачів дозволяли спостерігати за процесом очищення води. Прояснювачі по висоті через 200 мм були обладнані пробовідборними трубками 2 для відбору проб з різних шарів прояснювачів. З бака із замутнювачем 4 вода з дрібнодисперсним каоліном подавалася в бак з вихідною водою, де перемішувалась мішалкою 7. Отримана модельна вода в баках-змішувачах 6 змішувалася за допомогою мішалок з розчином коагулянту з дозаторів коагулянту 3 та 9. Для

контролю за тиском води в прояснювачах використовувався п'єзометричний щит 11. Випуск проясненої води здійснювався по кільцевому жолобі з верхньої частини прояснювача.

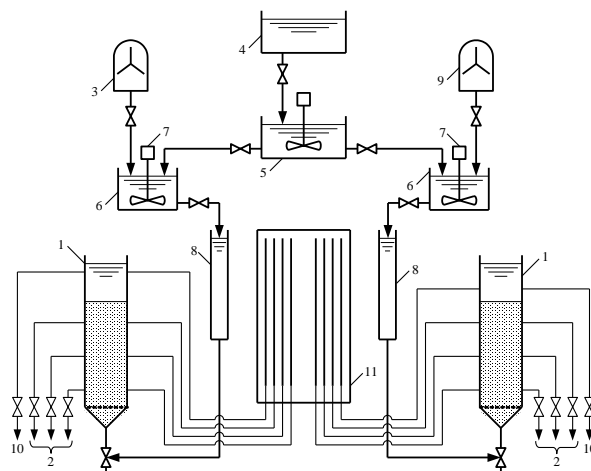


Рис. 2. Схема лабораторної установки прояснювачів  
1 – прояснювачі; 2 – пробовідбірні дренажі;  
3, 9 – дозатори коагулянту; 4 – бак із замутнювачем;  
5 – бак із вихідною водою; 6 – баки-змішувачі;  
7 – мішалки; 8 – повітровідділювачі;  
10 – відбір проб проясненої води;  
11 – п'єзометричний щит; 12 – подача промивної води

Модифікування розчину коагулянту здійснювалося у спеціальному пристрої – модифікаторі, який передбачає створення іонних асоціатів, що виникають внаслідок магнітної обробки та закріплення їх анодно-розчином залізом (патент України № 45813 А).

Конструктивна схема модифікатора реагентів наведена на рис. 3. Пристрій складається з корпусу 1, виготовленого з органічного скла, всередині якого знаходиться сердечник з металевих кілець 2, встановлених на шпильці 3, і закріплених на фланці 4 між електродом 2 і розташованим по периметру внутрішнього корпусу 1 металевим електродом 5, який закріплений на фланці 4 нижньому розподільчому кільці 6 для рівномірної подачі розчину коагулянту. До шпильки 3 приєднується металевий конусоподібний сердечник магнітопроводу 7, який розташований по центру корпусу регулятора швидкості 8. Електромагнітна система, що приводить в дію котушку, що намагнічує 9, магнітопровід 10 і конусоподібний сердечник 7, розташована зовні регулятора швидкості. Між конусоподібним сердечником 7 і корпусом регулятора 8 швидкості утворюється проміжок 11 для протікання оброблюваної рідини, що подається по патрубку 12. Модифікатор встановлюється на підставку 13. Для відведення готового розчину використовують патрубки 14. Вихідний розчин надходить через вхідний патрубок 12 до нижнього конуса і проходить через зони

магнітного потоку, створюваного замкнутої електромагнітної системою 7, 9, 10, де обробляється магнітним полем певної напруженості. Далі розчин надходить у верхню частину корпусу, де при протіканні струму між електродами 2 та 5 відбувається насичення анодно-розчином залізом. Готовий розчин подається через патрубки 14.

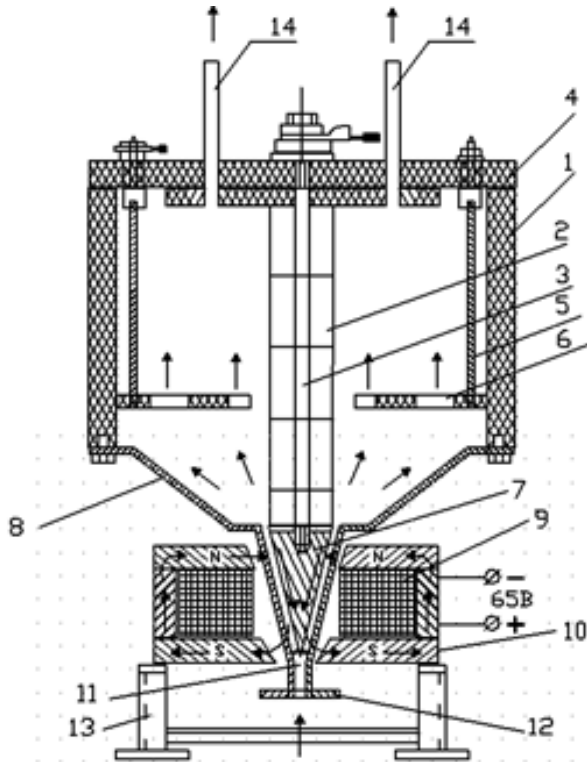


Рис. 3. Конструктивна схема модифікатора реагентів

Основним технологічним критерієм ефективності використання модифікованого розчину сульфату алюмінію при очищенні води в контактних прояснювачах було прийнято залишковий вміст завислих речовин в проясненій воді, оскільки саме цей критерій є одним з основних, що характеризує ефективність роботи очисних споруд водопроводу.

Ефект використання модифікованого розчину коагулянту визначається за відношенням:

$$E = \frac{D_0}{D_M} \cdot 100\%. \quad (1)$$

де:  $E$  – ефект активації, %;

$D_0$  – залишковий вміст завислих речовин в проясненій воді;

$D_m$  – те саме при обробці води модифікованим розчином коагулянту.

*Вплив модифікованого розчину коагулянту на  $\zeta$ -потенціал і адсорбційну ємність гідроксиду алюмінію в процесах очищення води.*

Агрегативна стійкість колоїдних систем характеризується не тільки наявністю електростатичних сил відштовхування, а й іншими факторами, основним з яких є гідратація частинок, тобто утворення на їх поверхні оболонок з молекул дисперсійного середовища. У гідрофобних золях при досягненні порогових концентрацій електролітів спостерігаються явні ознаки коагуляції, оскільки відбувається стиснення подвійного шару і відповідне зменшення гідратних оболонок, що дозволяє колоїдним частинкам зближуватися на відстань, при якій енергія їх взаємного тяжіння перевищує енергію теплового руху. Зміна товщини дифузного шару характеризується величиною електрокінетичного потенціалу ( $\zeta$ -потенціалу). Чим сильніше розмитий дифузний шар, тим вище  $\zeta$ -потенціал і навпаки, при граничному стискуванні дифузного шару  $\zeta$ -потенціал наближається до нуля. При значенні  $\zeta$ -потенціалу ( $\zeta=0$ ), колоїдна частка не несе на собі заряд по відношенню до середовища, тому гідратна оболонка мінімальна. Такому ізоелектричному стану частинок відповідає мінімальна стійкість системи і найбільш виражена коагуляція. На підставі сказаного, величину  $\zeta$ -потенціалу можна вважати основним критерієм повноти протікання процесу коагуляції [13].

За даними А.М. Когановського та інших авторів в процесі очищення води використовується тільки близько 50–60% адсорбційної поверхні гідроксиду алюмінію [14].

Модифікації піддавали 5-% розчин сульфату алюмінію. Золь гідроксиду алюмінію готували осадженням гідроксиду з розчину  $AlCl_3$  аміаком з подальшою пептизацією осаду соляної кислоти при кип'ятінні, потім піддавали його тривалому діалізу протягом 10–12 діб.

Вплив модифікації розчину сульфату алюмінію на величину електрокінетичного потенціалу золь і питому адсорбційну ємність гідроксиду алюмінію показано в табл. 2.

Вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на адсорбційну ємність його гідроксиду вивчали на модельній воді, штучно забарвленою розчином гумінових речовин, визначеною за методикою [15]. Склад доданих компонентів наступний: гумінові колоїдні кислоти – 39%, фульвокислоти колоїдні – 56%, фульвокислоти істинно розчинені – 4,5%. Концентрацію гумінових речовин у воді після введення водної витяжки торфу визначили ваговим способом. Вона становила  $511 \text{ мг/дм}^3$ . При необхідності отримання розчину з більш низьким вмістом гумінових речовин до розчину, що готується, додавали певну кількість водопровідної води.

Таблиця 2

Ефективність впливу модифікованого розчину сульфату алюмінію на  $\zeta$ -потенціал золю і адсорбційну ємність гідроксиду алюмінію

Величина електрокінетичного потенціалу		Зниження величини електрокінетичного потенціалу, %	Величина довірчого інтервалу ( $\gamma = 0,95, n = 4$ )	Питома адсорбційна ємність, мг/дм <sup>3</sup>	Збільшення питомої адсорбційної ємності, %	Величина довірчого інтервалу ( $\gamma = 0,95, n = 4$ )
Звичайний розчин, мВ	Модифікований розчин, мВ					
125,7	-	-	124,8< $\alpha$ <126,9	315,5	-	314,1< $\alpha$ <316,4
-/-	115,2	8,3	114,5< $\alpha$ <116,3	347,4	10,1	345,2< $\alpha$ <349,8
-/-	109,3	13,0	108,1< $\alpha$ <110,2	373,2	16,6	369,1< $\alpha$ <377,1
-/-	106,5	15,0	105,2< $\alpha$ <107,7	383,01	21,4	380,4< $\alpha$ <383,6
-/-	107,3	14,6	106,1< $\alpha$ <108,8	363,45	15,2	361,3< $\alpha$ <366,7
-/-	109,4	12,9	108,9< $\alpha$ <110,2	361,6	14,6	357,3< $\alpha$ <366,4

Вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на каламутність і забарвленість проясненої води.

Гідравлічна характеристика контактного середовища відстійника визначається швидкістю осідання та ступенем однорідності зависі. Від неї залежить швидкість руху води у відстійнику, а отже, і її продуктивність.

При визначенні гідравлічної характеристики зависі контактного середовища відстійника повинні бути дотримані такі умови: у відібраних для дослідження пробах зависі повинна зберігатися такі ж розміри частинок і об'ємну концентрацію, як у робочій зоні відстійника. Для цього при відборі проб не повинно відбуватися розбивання пластівців зависі, їх осідання та укрупнення [16].

Відсоткові швидкості осідання зависі, що коагулюється, наведені на рис. 4. Кількість зависі, що випала в осад з тією чи іншою гідравлічною крупністю в період весняної повені вище порівняно із зимовим періодом. Це відноситься до осідання зависі у воді, обробленої модифікованим і звичайним розчинами коагулянту сульфату алюмінію. Кількість зависі, що осіла у воді, обробленої модифікованим розчином коагулянту, значно вище, ніж при звичайній коагуляції. Зимовий період: зависі крупністю 0,1 мм/с – звичайний коагулянт – 38%, модифікований – 92%. Період весняної повені –

відповідно 60% та 95%. Зі збільшенням гідравлічної крупності коагулюваної зависі ефективність видалення завислих речовин трохи знижується. Найбільша кількість зависі при обробці модифікованим розчином спостерігається для гідравлічної крупності 0,1 мм/с, а найменша – 1,2 мм/с.

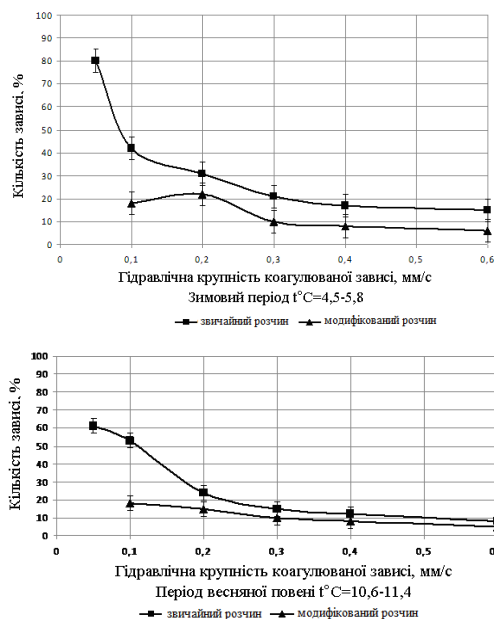


Рис. 4. Вплив модифікованого розчину  $Al_2(SO_4)_3$  на гідравлічну крупність зависі

Аналогічна картина має місце при звичайній коагуляції, але кількість зависі в першому випадку, щоправда, при гідравлічній крупності 1,2 мм/с і нижче, ніж при 0,1 мм/с і більше – 15% (звичайна коагуляція), 24% (модифікований коагулянт) – зимовий період, відповідно 19% та 41% – період весняної повені. Дослідження показали, що обробка води модифікованим розчином коагулянту дозволяє збільшити гідравлічну крупність завислих речовин, що коагулюються, при цьому збільшується кількість зависі, що осідає з тією чи іншою гідравлічною крупністю, що дає можливість підвищити ефект прояснення води в горизонтальних відстійниках.

Вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на знебарвлення природних вод наведено у табл. 3.

Ефективність знебарвлення каламутних вод при обробці води модифікованим розчином коагулянту, залежно від вмісту завислих речовин у воді, що прояснюється, показана на рис. 5.

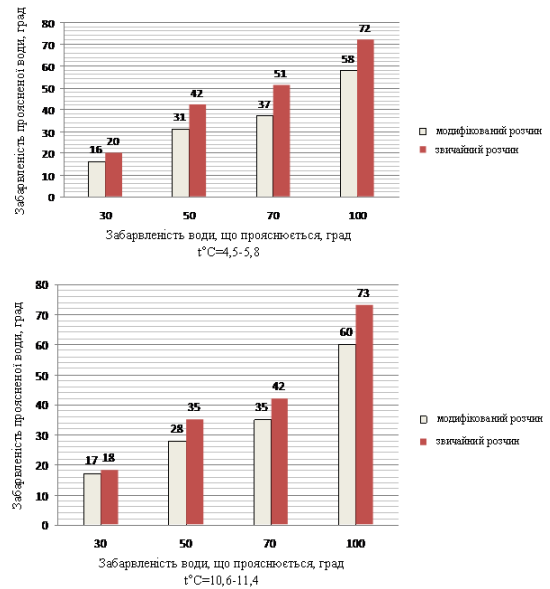


Рис. 5. Вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на знебарвлення каламутних забарвлених вод

Таблиця 3

Вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на знебарвлення природних вод

№ серії експерименту	Забарвленість води, що прояснюється, град ПКШ	Температура води, °C	Забарвленість води, що прояснюється, град ПКШ		Зміна забарвленості проясненої води, %	
			Модифікований розчин коагулянту	Звичайний розчин коагулянту	Модифікований розчин коагулянту	Звичайний розчин коагулянту
1	30	4,5-5,8	16	20	46,6	33,3
	50		31	42	38,0	16
	70		37	51	41,1	27,1
	100		58	72	42,0	28
2	30	10,6-11,4	17	18	43,3	40
	50		28	35	44	30
	70		35	42	50	40
	100		60	73	40	27

Аналіз дослідних даних показує, що ефективність застосування модифікованого розчину коагулянту зі збільшенням вмісту завислих речовин у вихідній воді підвищується і досягає максимальних значень 100–250 мг/дм<sup>3</sup>, далі спостерігається тенденція до зменшення ефективності, хоча значення забарвленості проясненої води досить низькі. Забарвленість проясненої води при обробці її модифікованим розчином коагулянту знаходиться приблизно на одному рівні і не залежить від вмісту завислих речовин у вихідній воді.

Аналіз виконаних досліджень дозволяє зробити висновок про високу ефективність використання модифікованого розчину коагулянту при очищенні малокаламутних забарвлених та каламутно-забарвлених вод. При цьому температура води не впливає на ефективність очищення води.

*Зміна сил зчеплення контактної середовища при проясненні води на контактних прояснювачах.*

Збільшення щільності пластівців може викликати збільшення їх міцності, що побічно може бути охарактеризовано силами зчеплення, які певною мірою

залежать від міцності пластівців домішок, які коагулюються, що характеризується певною мірою опором дії сил зсуву, що викликаються наявністю гідравлічного градієнта в потоці.

Міцність коагуляційної структури залежить від величини молекулярних сил тяжіння та числа контактів між частинками: чим менше розміри окремих частинок, тим вище сили зчеплення з-поміж них і вище міцність всієї структури загалом.

Осад промивної води контактного прояснювача після 30 хвилин відстоювання поміщали в мірні циліндри висотою 600 мм з конічним днищем (діаметр циліндра – 32 мм) і спостерігали за ущільненням осаду та зміною його граничної напруги зсуву. Наповнення приладу проводилося знизу вгору, надлишок води, що досліджувалася, відводився на висоті 432 мм через злив.

Граничну напругу зсуву вимірювали методом Вейлера-Рєбіндера при тангенціальному зміщенні пластинки, поміщеної в осад, отриманий шляхом відстоювання промивної води з моделі контактного прояснювача.

Гранична напруга зсуву при використанні звичайного розчину коагулянту – 12,3–12,6 мг/см<sup>2</sup>, при використанні модифікованого розчину коагулянту – 17,1–20,9 мг/см<sup>2</sup>.

Зміна граничної напруги зсуву в осаді промивної води контактних прояснювачів показує, що використання модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію дозволяє збільшити сили зчеплення зависі, що коагулюється, та завантаженням контактних прояснювачів.

Дослідні дані показують, що при використанні модифікованого розчину коагулянту при очищенні води на контактних прояснювачах спостерігається збільшення граничної напруги зсуву в осаді промивної води, а, отже, і опір дії сил зсуву, що опосередковано характеризує збільшення сил зчеплення піщаного завантаження контактного прояснювача з коагульованими домішками проясненої води.

## Висновки

1. Аналіз існуючих методів інтенсифікації водообробки свідчить про те, що найперспективнішими є методи, пов'язані із застосуванням раціональних, технологічно обґрунтованих схем, модернізацією існуючих та розробкою нових методів та конструкцій водоочисних апаратів. Все більшого значення набувають фізичні методи, до яких належить аналізований у цій роботі метод інтенсифікації процесу прояснення води із застосуванням модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію.

2. В роботі вирішено важливе науково-практичне завдання, яке полягає у науковому обґрунтуванні застосування розчину реагенту сульфату алюмінію, який піддавався модифікованій активації

для інтенсифікації роботи контактних прояснювачів при очищенні природних вод, що дозволяє на очисних спорудах систем водопостачання: знизити витрати реагенту, поліпшити якість прояснення оброблюваної води за завислими речовинами та забарвленістю.

3. Розглянуто теоретичні передумови поліпшення роботи контактних прояснювачів за допомогою модифікованого розчину коагулянту. Показано, що поліпшення фізико-хімічних умов коагуляції домішок при проясненні можна пояснити наступними факторами:

- зменшенням ступеня структурно-механічної гідратації коагульованих домішок та збільшенням розмірів і питомої ваги коагуляційних структур, у зв'язку з чим процеси прояснення та знебарвлення води інтенсифікуються, що дозволяє покращити параметри роботи та отримати воду необхідної якості;

- зниженням агрегативної стійкості колоїдних систем та збільшенням адсорбційної ємності гідроксиду алюмінію, що сприяє поліпшенню процесу коагуляції;

- виконані дослідження доводять можливість збільшення сил зчеплення між частинками контактного середовища за допомогою модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію, що дає змогу підвищити ефект очищення води та знизити розрахункові дози коагулянту.

4. Предметом подальшого дослідження має стати порівняння ефективності методів інтенсифікації роботи очисних споруд, а саме: модифікованого розчину коагулянту та, наприклад, суміші коагулянту та флокулянту. Також слід приділити увагу методам переривчастого та пропорційного коагулювання, дослідити їх ефективність у порівнянні з модифікованими розчинами реагентів.

## Література

1. Джигирей В.С. *Основи екології та охорона навколишнього природного середовища* / В.С. Джигирей, В.М. Сторожук, Р.А. Яцюк. – Львів : Афіша, 2001. – 272 с.
2. Dushkin S. *Intensification of the work of contact clarifiers of drinking water preparation* / S. Dushkin, S. Martynov, S. Dushkin // *Journal of Water and Land Developer*. – 2019. – № 41 (IV–VI). – Pp. 55–60. DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/jwld-2019-0027>
3. Тугай А.М. *Водопостачання* / А.М. Тугай, В.О. Орлов. – К. : Знання, 2009. – 735 с.
4. Запольський А.К. *Водопостачання, водовідведення та якість води* / А.К. Запольський. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с.
5. Тихонюк-Сидорчук В.О. *Изменение сил сцепления контактной среды кварцевой загрузки контактного осветлителя при использовании активированного раствора коагулянта* // *Зб. доп. Міжнародного конгресу «Евтек – 2003»: «Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація»*. – Ялта, 2003. – С. 155–157.

6. Василенко О.А. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення / О.А. Василенко, П.О. Грабовський, Г.М. Ларкіна, О.В. Поліщук, В.Й. Прогульній. – К. : ІВНВКП «Укрґеліотек», 2010. – 272 с.

7. Dushkin S. Applying a modified aluminum sulfate solution in the processes of drinking water preparation / S. Dushkin, T. Shevchenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – Vol.4, Is.10(106). – Pp. 26–36. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210096>

8. Душкін С.С. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды / С.С. Душкін, Г.И. Благодарная. – Харьков : ХНАГХ, 2009. – 95 с.

9. Nevedrov A. Preparation of water for coke-plant water cycles // A. Nevedrov, N. Kolmakov, S. Subbotin et al. // *Coke and Chemistry*. – 2015. – Т. 58. Nom. 2. – Pp. 64–67. DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S1068364X15020039>

10. Alekseev G. Water protection in coke-plant design / G. Alekseev // *Coke and Chemistry*. – 2009. – Т. 52, No 7. – Pp. 323–325. DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S1068364X09070114>

11. Душкін С.С. Підвищення ефективності роботи горизонтальних відстійників з тонкошаровими модулями / С.С. Душкін // *Modern science and education: problems and development prospects*. – Katowice : Publishing House of University of Technology. – Monograph 51. – P. 65–92.

12. Dushkin S. More Effective Clarification of Circulating Water at Coke Plants / S. Dushkin, O. Galkina // *Coke and Chemistry*. – 2019. – Т. 62. – Pp. 474–480.

13. Душкін С.С. Влияние активированного раствора коагулянта на  $\zeta$ -потенциал и адсорбционную ёмкость гидроксида алюминия / С.С. Душкін // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. – 2012. – Вип. 45. – С. 85–90.

14. Душкін С.С. Підвищення екологічної безпеки при підготовці питної води з використанням модифікованого кварцового завантаження фільтруючих матеріалів / С.С. Душкін // *Наук.-техн. журнал «ТЕБ»*. – 2019. – 6(2/2019). – С. 54–59. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3559024>

15. Душкін С.С. Повышение эффективности работы скорых фильтров с применением модификации кварцевой загрузки / С.С. Душкін, Г.И. Благодарная, С.С. Душкін, М.В. Дегтярь, Т.А. Шевченко // *Водопостачання, водовідведення*. – 2018. – №1. – С. 17–19.

16. Душкін С.С. Модифікація кварцового завантаження контактних освітлювачів при підготовці питної води / С.С. Душкін // *Наук.-техн. журнал «ТЕБ»*. – 2022. – 11(1/2022). – С. 55–60.

## References

1. Dzhigirei, V.S., Storozhuk, V.M., Yatsyuk, R.A. (2001). *Fundamentals of ecology and environmental protection*. Lviv, Afisha. [in Ukrainian]

2. Dushkin, S., Martynov, S., Dushkin, S. (2019). Intensification of the work of contact clarifiers of drinking water preparation. *Journal of Water and Land Developer*, 41, 55–60. DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/jwld-2019-0027>

3. Tugay, A.M., Orlov, V.O. (2009). *Water supply*. Kyiv, Znannia. [in Ukrainian]

4. Zapolsky, A.K. (2005). *Water supply, drainage and water quality*. Kyiv, Vyshcha shkola. [in Ukrainian]

5. Tikhonyuk-Sidorchuk, V.O. (2003). Changing the adhesion forces of the contact medium of the quartz load of the contact clarifier when using the activated coagulant solution. *Proceedings of Int. Congress "Evtek – 2003": "Ecology, technology, economy, water supply, sewerage"*, Yalta. [in Russian]

6. Vasylenko, O.A., Grabovsky, P.O., Larkina, G.M., Polishchuk, O.V., Progulny, V.Y. (2010). *Reconstruction and intensification of water supply and sewerage facilities*. Kyiv, Ukrgeiotek. [in Ukrainian]

7. Dushkin, S., Shevchenko, T. (2020). Applying a modified aluminum sulfate solution in the processes of drinking water preparation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 106, 26–36. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210096>

8. Dushkin, S.S., Blagodarnaya, G.I. (2009). *Development of scientific bases of resource-saving technologies of preparation of ecologically pure drinking water*. Kharkiv, KNAGH. [in Russian]

9. Nevedrov, A., Kolmakov, N., Subbotin, S., et al. (2015). Preparation of water for coke-plant water cycles. *Coke and Chemistry*, 58, 64–67. DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S1068364X15020039>

10. Alekseev, G. (2009). Water protection in coke-plant design. *Coke and Chemistry*, 52, 323–325. DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S1068364X09070114>

11. Dushkin, S.S. (2022). Improving the efficiency of horizontal settlers with thin-layer modules. *Modern science and education: problems and development prospects*. Katowice: Publishing House of the University of Technology, Monograph 51. [in Ukrainian]

12. Dushkin, S., Galkina, O. (2019). More Effective Clarification of Circulating Water at Coke Plants. *Coke and Chemistry*, 62, 474–480.

13. Dushin, S.S. (2012). Influence of activated coagulant solution on the  $\zeta$ -potential and adsorption capacity of aluminum hydroxide. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 45, 85–90. [in Russian]

14. Dushkin, S. (2019). Increase of environmental safety in the preparation of drinking water using a modified quartz loading of filter materials. *Technogenic and ecological safety*, 6 (2/2019), 54–59. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3559024> [in Ukrainian]

15. Dushkin, S.S., Blagodarnaya, G.I., Dushkin S.S., Shevchenko, T.A. (2018). Improving the efficiency of fast filters with the use of quartz loading modification. *Water supply, sewerage*, 1, 17–19. [in Russian]

16. Dushkin, S. (2022). Modification of the quartz loading contact clarifiers in water treatment processes. *Technogenic and ecological safety*, 11 (1/2022), 55–60. [in Ukrainian]

**Рецензент:** д-р технічних наук, професор І.І. Капцов, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

**Автор:** ДУШКІН Станіслав Сергійович  
кандидат технічних наук, доцент каф. ПМтаТЗНС  
Національний університет цивільного захисту України  
e-mail – [d.akass@ukr.net](mailto:d.akass@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9345-9632>



## CONTACT CLARIFIERS IN DRINKING WATER TREATMENT PROCESSES

S. Dushkin

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

*The article deals with the issues of resource-saving technology in the preparation of drinking water on contact clarifiers. One of the methods of water purification from coarse and colloidal contaminants is the method of contact coagulation using aluminum sulfate coagulant.*

*It is advisable to use contact clarifiers in single-stage treatment schemes for low-turbid colored and cloudy-colored waters, when the total content of suspended solids in the water entering the contact clarifiers, including the suspension formed as a result of introducing reagents into the water, does not exceed 150 mg/l. With a higher content of suspended matter in water, the water consumption for washing contact clarifiers increases sharply.*

*To intensify the preparation of drinking water on contact clarifiers, a resource-saving technology is proposed using contact clarifiers using a modified aluminum sulfate coagulant solution, which makes it possible to: reduce the consumption of coagulants used in water purification, improve the quality of water clarification by weighing substances, and reduce the cost of water treatment.*

*Theoretical prerequisites for improving the operation of contact clarifiers with a modified coagulant solution are considered. The use of a modified coagulant solution allows, without deteriorating the quality of water clarification, to reduce the calculated doses of the coagulant by an average of 25-30%, which confirms the feasibility of using a modified aluminum sulfate coagulant solution when clarifying water on contact lights.*

*It has been established that the treatment of clarified water with a modified aluminum sulfate coagulant solution during contact coagulation makes it possible to reduce the residual aluminum content in clarified water by an average of 50-60%, the quality of water purification in terms of bacteriological and hydrobiological indicators is much higher than when treating water with a conventional coagulant solution.*

**Keywords:** *contact coagulation, contact clarifiers, drinking water, filtration, contact environment, coagulant.*