

С.С. Душкін, Т.О. Шевченко, О.П. Галкіна

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНИХ РОЗЧИНІВ РЕАГЕНТІВ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ПИТНОЇ ВОДИ

Представлені результати досліджень модифікованих розчинів реагентів, які використовуються при підготовці питної води. Встановлено, що обробка води модифікованим розчином коагулянту сульфату алюмінію дозволяє підвищити якість підготовки питної води за завислими речовинами, забарвленістю, знизити вміст солей алюмінію у воді, що прояснюється, тим самим підвищити екологічну безпеку питної води.

Ключові слова: *питна вода, модифікований розчин коагулянту, сульфат алюмінію, екологічна безпека питної води, інтенсифікація процесу очищення, прояснення, знебарвлення.*

Постановка проблеми

Для вирішення актуальних проблем охорони навколишнього середовища в умовах сучасної науково-технічної революції велику роль відіграють питання раціонального використання природних ресурсів, зниження кількості механічних і розчинних забруднень, що скидаються в природні водойми разом з промисловими стічними водами [1, 2].

В теперішній час приділяється увага питанням інтенсифікації процесу очищення природних і стічних вод, удосконалення технології, розробки нових ефективних методів інтенсифікації очищення води. Це дозволить спростити існуючу технологію обробки води, скоротити трудомісткі процеси приготування і дозування реагентів, зменшити витрати на експлуатацію очисних споруд, збільшити їх продуктивність, підвищити якість і зменшити собівартість очищеної води [3, 4].

У даній роботі розглянута проблема інтенсифікації процесу підготовки питної води шляхом використання модифікованих розчинів реагентів, зокрема розчину коагулянту сульфату алюмінію, застосування якого дозволяє покращити процес прояснення води, поліпшити показники якості прояснення води відповідно до вимог ДСанПіН України, підвищити екологічну безпеку питної води [5, 6].

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є обґрунтування використання модифікованих розчинів реагентів при підготовці питної води, що дозволяє підвищити якість очищення питної води та її екологічну безпеку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Речовини мінерального та органічного походження присутні у воді в усіх видах дисперсного стану. В грубодисперсному (завислому) стані знаходяться глинисті, кварцові, вапняні та гіпсові частинки, ряд речовин природного і рослинного походження; в колоїдному – частинки глини, сполуки кремнію і заліза, сірка, продукти життєдіяльності та розпаду мікроорганізмів, гумінові речовини; в розчиненому – гази, неорганічні солі лужних, лужноземельних і важких металів, ряд органічних сполук, а також бром, йод тощо.

Різноманіття присутніх у воді домішок і забруднень потребує науково обґрунтованої їх класифікації, що дозволяє об'єднати їх за ознакою загальних властивостей в окремі групи. Класифікація, запропонована Л.А. Кульським, заснована на спільності фізико-хімічних характеристик домішок, що знаходяться у водних середовищах, тобто на їх здатності утворювати гомогенні та гетерогенні водні системи. При такій класифікації забруднень вибір методів їх видалення визначається фізичним станом домішок, в разі гетерогенних систем – їх дисперсністю [7].

Останнім часом все більшого значення для вирішення цієї проблеми набувають фізичні методи, засновані на впливі на водну систему зовнішніх полів (магнітних, електричних, ультразвукових тощо). Ці методи очищення води універсальні, ефективні та економічні [8].

Перспективним методом очищення колоїдно-дисперсних систем є обробка їх модифікованими розчинами реагентів. Метод можна застосовувати для очищення більшості домішок колоїдного

ступеня дисперсності і починає використовуватися в промисловій технології очищення природних і стічних вод [9].

Основні положення сучасної теорії стійкості гідрофобних колоїдних систем розроблені Б.В. Дерягіним і Л.Д. Ландау. Автори вважають, що сили електростатичного відштовхування виникають в тому випадку, коли колоїдні частинки поєднуються настільки, що дифузні шари протиіонів хоча б частково накладуться один на одного.

Основним процесом коагуляційного очищення природних вод є гетерокоагуляція – взаємодія колоїдних і дрібнодисперсних домішок води з агрегатами, що утворюються при введенні коагулянтів в воду, що прояснюється.

Згідно адсорбційної теорії коагуляції, запропонованою Г.Ф. Фрейндліхом, причиною коагуляції електроліту є нейтралізація частини заряду колоїдних частинок, що відбувається внаслідок адсорбції іонів коагулюючого електроліту [10].

При проведенні досліджень була використана лабораторна установка, яка дозволяла виконати інтенсифікацію процесу очищення води на швидких фільтрах. Методологічні аспекти проведення досліджень наведені раніше.

Модифікація розчинів реагентів рекомендується при очищенні природної води. Розроблений метод розчинів реагентів захищено патентом [11].

Виклад основного матеріалу

Робота виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри водопостачання, водовідведення та очистки вод Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.

В практиці підготовки питної води широке застосування отримали солі алюмінію, особливо сульфату алюмінію, який застосовують для очищення забарвлених і каламутних вод в інтервалі значень рН 5–7,5. Чим більше твердість і менше забарвленість води, яка обробляється, тим вище оптимальні значення рН середовища. З підвищенням вмісту водорозчинного оксиду алюмінію в коагулянті підвищується його знебарвлююча здатність. Особливо ефективним є застосування сульфату алюмінію для обробки вод з підвищеним вмістом гумінових і дубильних речовин. При цьому, разом із знебарвленням води значно знижується її окиснюваність. Відносно низька вартість, добра розчинність, відсутність особливих вимог до поводження з сухим і розчинним продуктом зробили сульфат алюмінію найбільш поширеним коагулянтном [12].

Вплив модифікованих розчинів реагентів досліджували на модельній воді. В якості модельних

речовин використовували водну витяжку торфу і відстояну протягом 2 годин суспензію елітової глини. При проведенні досліджень використовували 5–10%-й розчин сульфату алюмінію.

Одним з основних показників, що характеризують роботу очисних споруд є залишковий вміст завислих речовин в проясненій воді. Ефект модифікації розчину коагулянту після модифікації визначається за відношенням (1):

$$E = \frac{O_o}{O_m} \cdot 100\% \quad (1)$$

де O_o – залишковий вміст завислих речовин в проясненій воді (оптична щільність зависі) в пробі;

O_m – те ж саме при обробці води модифікованим розчином сульфату алюмінію.

Експерименти виконували на модельній воді, обробленій модифікованим розчином коагулянту сульфату алюмінію і для умов звичайної коагуляції. Якісна характеристика досліджуваної модельної води наведена нижче:

Температура – 21,1–21,8 °С;

Каламутність – 30–780 мг/дм³;

Забарвленість – 22–35 град ПКШ;

рН – 7,1–7,7;

Загальна твердість – 3,75–3,89 моль/см³;

Лужність – 2,55–2,9 моль/дм³.

Величина гідралічної крупності коагульованої зависі є одним з головних показників роботи відстійників, прояснювачів із завислим осадом та інших споруд для очищення води. Швидко і повне розділення гетерогенної системи, якими є природні води, в певній мірі залежить від гідралічної крупності зависі, що утворюється при обробці води реагентами.

Одним з прогресивних прийомів в області підготовки питної води є використання модифікованих розчинів реагентів, застосування яких дозволяє збільшити гідралічну крупність коагульованої зависі і тим самим інтенсифікувати процеси прояснення води.

Ефективність впливу модифікованих розчинів сульфату алюмінію залежить від вмісту завислих речовин у воді, що прояснюється, і наведено на рис. 1.

Найвищий ефект спостерігається при вмісті завислих речовин у вихідній воді 100–200 мг/дм³. При збільшенні каламутності до 250 мг/дм³ ефективність обробки зменшується, а при подальшому підвищенні вмісту завислих речовин використання модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію для обробки води не доцільно. Зі зменшенням вмісту завислих речовин до 25–50

мг/дм³ ефективність впливу модифікованих розчинів коагулянтів також зменшується.

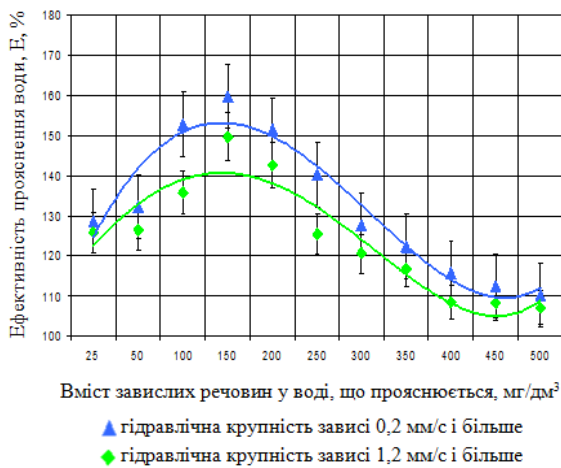


Рис. 1. Вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на гідравлічну крупність коагульованої зависі

Відповідно до ДСанПіН України [5] пред'являються досить високі вимоги за органолептичними та токсикологічними показниками води, зокрема до залишкового вмісту алюмінію в проясненій воді, який належить до найважливіших технологічних показників якості очищення води: залишковий вміст алюмінію в проясненій воді не має перевищувати 0,2 мг/дм³. Хоча, виходячи з особливостей умов водопідготовки і дозволу санітарних органів, значення цього показника може досягати 0,5 мг/дм³.

Результати досліджень про вплив розчину сульфату алюмінію на зниження залишкового алюмінію в проясненій воді при очищенні води

модифікованим розчином коагулянту наведені на рис. 2.

Найбільший вміст залишкового алюмінію в проясненій воді має місце в період низьких температур (січень–лютий). Так, при обробці води звичайним коагулянтом сульфату алюмінію залишковий вміст алюмінію складає в середньому 0,46 мг/дм³ (січень), а при обробці води модифікованим розчином коагулянту залишковий вміст алюмінію в середньому знижується до 0,29 мг/дм³ (зниження залишкового вмісту алюмінію на 58,61% – січень). У березні аналогічні показники становлять 0,49 мг/дм³ – для звичайного розчину коагулянту і 0,3 мг/дм³ – для модифікованого (зниження залишкового вмісту алюмінію на 63,3% – березень).

Аналогічна тенденція має місце в період весняного паводку і в період цвітіння води (липень, серпень): в липні залишковий вміст алюмінію складає 0,32 мг/дм³ (для звичайного розчину коагулянту) і 0,21 мг/дм³ (для модифікованого розчину коагулянту – зниження залишкового вмісту алюмінію на 52,3% – липень). У листопаді зниження залишкового вмісту алюмінію в проясненій воді становить 0,28 мг/дм³ (для звичайного розчину коагулянту) і 0,17 мг/дм³ (для модифікованого розчину коагулянту) – на 64,7%, тобто нормативні значення залишкового алюмінію знижуються при обробці води модифікованим розчином коагулянту.

Виконані дослідження показують, що використання модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію при очищенні води дозволяє знизити залишковий вміст алюмінію в проясненій воді в середньому на 50–60%.

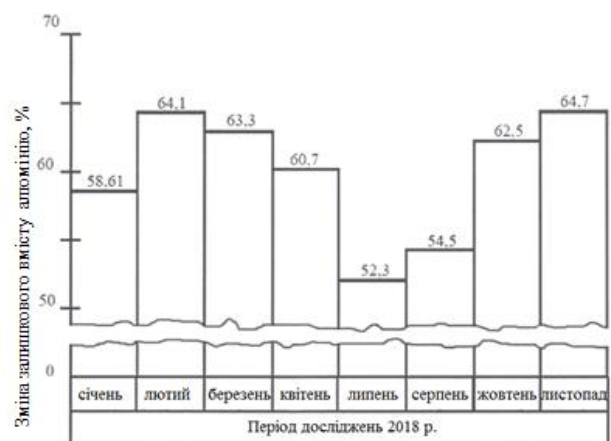
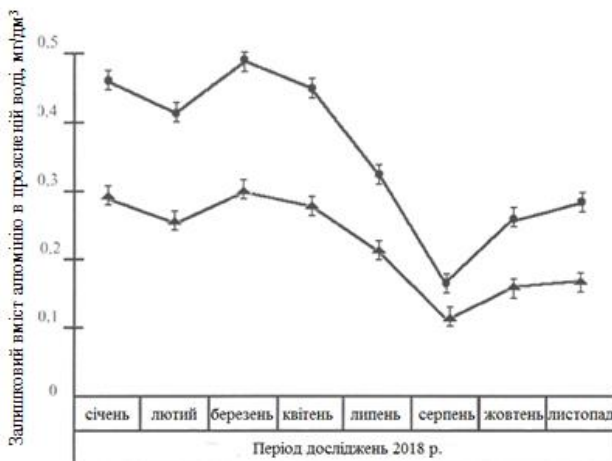


Рис. 2. Вплив модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію на залишковий вміст алюмінію в проясненій воді р. Дніпро (2018 р.) при очищенні води:
 ● – звичайний розчин коагулянту; ▲ – модифікований розчин коагулянту

Висновки

1. Обробка води модифікованим розчином коагулянту дозволяє збільшити гідравлічну крупність коагульованої зависі. Найбільш сильний вплив модифікований розчин коагулянту надає на гідравлічну крупність зависі 0,2 мм/с і менше, тобто на найбільш дрібну і завись, яка важко видаляється, що створює умови для більш інтенсивного осідання її у відстійниках і підвищення якості прояснення води, яка у подальшому подається на швидкі фільтри.

2. Експериментально визначено, що обробка води модифікованим розчином коагулянту сульфату алюмінію доцільно виконувати при вмісті у воді, що прояснюється, завислих речовин до 100–150 мг/дм³. Забарвленість води, що прояснюється, під час обробки модифікованим розчином коагулянту сульфату алюмінію, не залежить від вмісту завислих речовин і в 1,5–1,6 рази нижча за забарвленість, ніж під час використання звичайного розчину коагулянту.

3. Встановлено, що використання модифікованого розчину коагулянту сульфату алюмінію при очищенні води дозволяє знизити залишковий вміст алюмінію в проясненій воді в середньому на 50–60%.

Література

1. Драгинский В.Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. – М. : Наука, 2005. – 576 с.
2. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Л.А. Кульский. – Киев : Наукова думка, 1983. – 528 с.
3. Василенко О.А. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення: навч. посіб. / О.А. Василенко, П.О. Грабовський, Г.М. Ларкіна, О.В. Поліщук, В.Й. Прогульний. – Київ : ІВНВКП «Укрґеліотек», 2010. – 272 с.
4. Dushkin S.S. Intensification of work of contact clarifiers during the drinking water preparation / S.S. Dushkin, S. Martynov, S.S. Dushkin // *Journal of Water and Land Development*. – 2019. – № 41 (IV–VI). – p. 55–60. DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/jwld-2019-0027>
5. Наказ МОЗ України № 400 від 12.05.2010 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
6. Душкін С.С. Контактні прояснювачі в процесах підготовки питної води / С.С. Душкін, Г.І. Благодарна, С.С. Душкін, Т.О. Шевченко // *Комунальне господарство міст*. 2021. – Т. 1, № 161. – С. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-46-52>
7. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – К. : Вища школа, 1986. – 352 с.
8. Душкін С.С. Ресурсосберегающие технологии очистки

сточных вод : моногр. / С.С. Душкін, А.Н. Коваленко, М.В. Дегтярь, Т.А. Шевченко. – Харьков : ХНАГХ, 2011. – 146 с.

9. Dushkin S. Applying a modified aluminium sulfate solution in the processes of drinking water preparation / S. Dushkin, T. Shevchenko // *East European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – 4 (10-106). – pp. 26–36. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068364X19100041>

10. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами / Е.Д. Бабенков. – М. : Наука, 1977. – 356 с.

11. Патент 45258 Україна, МПК (2002.03) C02F 1/48. Спосіб модифікації фільтруючого завантаження для освітлення природних і стічних вод / Душкін С.С., Благодарна Г.І., Тихонюк В.О.; заявник та власник: ХНАМГ; опубл. 15.03.2002. Бюл. № 3.

12. Теоретические основы очистки воды / Н.И. Куликов, А.Я. Найманов, Н.П. Омельченко, В.Н. Чернышев. – Донецк : Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. – 298 с.

References

1. Draginskiy, V., Alekseeva, L., Getmantsev, S. (2005). Coagulation in the technology of natural water purification. *Nauka, Moscow*. [in Russian]
2. Kulskiy, L.A. (1983). Theoretical foundations and technology of water conditioning. *Naukova Dumka, Kyiv*. [in Russian]
3. Vasilenko, O.A., Grabowskiy, P.O., Larkina, G.M., Polishchuk, O.V., Progulniy, V.Y. (2010). Reconstruction and intensification of water supply and water supply. *“Ukrgeiotek”, Kyiv*. [in Ukrainian]
4. Dushkin, S., Martynov, S., Dushkin S. (2019). Intensification of work of contact clarifiers during the drinking water preparation. *Journal of Water and Development*, 41 (IV–VI), 55–60. DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/jwld-2019-0027>
5. Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 400 dated 12.05.2010 "On the consolidation of the State sanitary norms and rules "Hygienic requirements before water supply, designated for the living of people". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
6. Dushkin, S.S., Blagodarna, G.I., Dushkin, S.S., Shevchenko, T.O. (2021). Contact clarification in the process of preparation of drinking water. *Municipal economy of cities*, 1(161), 46–52. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-46-52> [in Ukrainian]
7. Kulsky, L.A., Strokach, P.P. (1986). Technology of natural water purification. *Vishcha school, Kyiv*. [in Russian]
8. Dushkin, S.S., Kovalenko, A.N., Degtyar, M.V., Shevchenko, T.A. (2011). Resource-saving technologies for wastewater treatment. Monograph. *KNAME, Kharkiv*. [in Russian]
9. Dushkin, S., Shevchenko, T. (2020). Applying a modified aluminium sulfate solution in the processes of drinking water preparation. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10-106), 26–36. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068364X19100041>
10. Babenkov, S.D. (1977). Purification of water by coagulants. *Nauka, Moscow*. [in Russian]
11. Dushkin, S.S., Blagodarna, G.I., Tikhonyuk, V.O. (2002). Patent 45258 Ukraine, IPC (2002.03) C02F 1/48. Method of modification of filter loading for clarification of natural and sewage / applicant and owner: KNAME; publ. 15.03.2002. Bull. № 3. [in Ukrainian]

12. Kulikov, N., Naimanov, A., Omelchenko, N., Chernyshev, V. (2009). Theoretical basis of water purification. Publishing house «Nouvelage» (Donetsk branch), Donetsk. [in Russian]

Рецензент: доктор техн. наук, проф. С.М. Епоян, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ДУШКІН Станіслав Станіславович
доктор технічних наук, професор, професор каф.
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – D.akaSS@ukr.net

Автор: ШЕВЧЕНКО Тамара Олександрівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – tamara.shevchenko@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4513-6759>

Автор: ГАЛКІНА Олена Павлівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – Olena.Galkina@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9499-1279>

USE OF MODIFIED REAGENTS SOLUTIONS WHEN PREPARING DRINKING WATER

S. Dushkin, T. Shevchenko, O. Galkina

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Currently, attention is paid to the intensification of the process of natural and wastewater treatment, improvement of technology, development of new effective methods of intensification of water treatment. This will simplify the existing technology of water treatment, reduce labor-intensive processes of preparation and dosing of reagents, reduce the cost of operating treatment plants, increase their productivity, improve quality and reduce the cost of treated water.

Treatment of water with a modified coagulant solution allows to increase the hydraulic size of the coagulated suspension. The strongest effect of the modified coagulant solution has on the hydraulic suspension size of 0.2 mm/s and less, i.e. the smallest and the suspension, which is difficult to remove, which creates conditions for more intensive sedimentation in settling tanks and improve the quality of water clarification and fed to fast filters.

It has been experimentally determined that the treatment of water with a modified solution of aluminum sulfate coagulant should be performed when the content of suspended solids in the clarified water is up to 100–150 mg / dm³. The color of the clarified water during treatment with a modified solution of aluminum sulfate coagulant does not depend on the content of suspended solids and is 1.5-1.6 times lower than the color than when using a conventional coagulant solution. It is established that the use of a modified solution of aluminum sulfate coagulant in water purification can reduce the residual aluminum content in clarified water by an average of 50-60%.

The results of researches of the modified solutions of reagents which are used at preparation of drinking water are presented. It is established that water treatment with a modified solution of aluminum sulfate coagulant allows to improve the quality of drinking water preparation by suspended solids, color, reduce the content of aluminum salts in the clarified water, thereby increasing the environmental safety of drinking water.

Keywords: drinking water, modified coagulant solution, aluminum sulfate, ecological safety of drinking water, intensification of treatment process, clarification, discoloration.