



2022

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 28 № 6

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
видається з 1938 року*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2022

ЗМІСТ

Економіка, менеджмент і маркетинг

Болотіна І. М., Яремич Г. С. Роль і значення ділового етикету в управлінні конфліктами організації

Гарастовська А. В., Петухова О. М. Маркетингова стратегія підприємств молочної галузі: сутність поняття та особливості формування

Механічна та електрична інженерія

Зінкевич П. О., Балута С. М. Порівняльний розрахунок потужності та вироблення електроенергії фотоелектричними станціями (ФЕС) для цивільних об'єктів та автостоянок

Мащенко О. А., Шестеренко В. Є., Изволенський І. Є. Релейний захист від електричної дуги та аварійного перегрівання елементів електроенергетичного розподільчого пристрою

Булій Ю. В., Куц А. М., Форсіук А. В., Ободович О. М. Оптимізація процесу перегонки спиртової бражки

Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А. Ефективність використання сопел типу Вентурі при отриманні водних рослинних екстрактів

Філоненко В. М., Самійленко С. М., Ярошевський І. С. Ефективність використання вторинних енергоресурсів у цукровому виробництві

Гавва О. М., Кривопляс-Володіна Л. О., Токарчук С. В. Функціонально-орієнтоване проектування машин пакування харчових продуктів у контексті технологій замкненого циклу

Харчові технології

Загорулко О. Є., Черевко О. І., Михайлов В. М., Загорулко А. М., Касабова К. Р. Удосконалення технології виробництва функціональних плодово-ягідних напівфабрикатів

Василишина О. В. Активність антиоксидантних ферментів плодів вишні протягом зберігання за обробки розчином карагелану

Пасичний В. М., Божко С. Б., Тищенко В. І., Божко Н. В., Самілик М. М. Дослідження споживчих і функціонально-технологічних показників напівкопчених ковбасок на основі баранини, виготовлених з використанням МПМО індичого та протеїну насіння конопі

Гусятинська Н. А., Деменюк О. М., Шульга С. А. Ефективність застосування поліоксихлориду алюмінію для очищення питної води

CONTENTS

Economy, Management and Marketing

7 Bolotina I., Yaremych H. Role and importance of business etiquette in conflict management of the organization

27 Harastovska A., Pietukhova O. Marketing strategy of dairy industry enterprises: essence of the concept and features of formation

Mechanical and Electrical Engineering

37 Zinkevych P., Baluta S. Comparative calculation of power and electricity production by photoelectric stations (FES) for civil objects and parking

48 Mashchenko O., Shesterenko V., Izvolensky I. Relay protection against electric arc and emergency overheating of elements of the electric power switchgear

54 Bulii Y., Kuts A., Forsiuk A., Obodovich O. Optimization of the distillation process of alcoholic mash

64 Avdeieiva L., Makarenko A. Efficiency of using Venturi nozzles for receiving aqueous plant extracts

73 Filonenko V., Samiilenko S., Yaroshevskiy I. Efficiency of use secondary energy resources in sugar production

85 Gavva O., Kryvoplias-Volodina L., Tokarchuk S. Functional-oriented design of food packaging machines in the context of closed cycle technologies

Food Technologies

96 Zagorulko O., Cherevko O., Mykhaylov V., Zahorulko A., Kasabova K. Improvement of the production technology of functional fruit and berry semi-finished products

108 Vasylyshyna O. Activity of antioxidant enzymes of cherry fruits during storage after treatment with carageenan solution

115 Pasichnyi V., Bozhko S., Tischenko V., Bozhko N., Samilyk M. Study of consumer, functional and technological indicators of semi-smoked sausages with turkey MDPM and hemp seed protein based on lamb

125 Husiatynska N., Demenyuk O., Shulga S. Efficiency of using aluminum polyoxochloride for purification of drinking water

- Діхтяр О. О., Адамчук Л. О., Антонів А. Д., Жук Л. М.* Дослідження основних показників безпеки та якості десерту на основі соняшникового меду 137 *Dikhtiar O., Adamchuk L., Antoniv A., Zhuk L.* Research of main indicators of safety and quality of the sunflower honey dessert
- Шевченко А. О., Литвинчук С. І.* Функціональні властивості рисового борошна та його вплив на конформаційні зміни в структурі пшеничного тіста та хліба 150 *Shevchenko A., Litvynchuk S.* Functional properties of rice flour and its effect on conformation changes in the structure of wheat dough and bread
- Сабадаш Н. І., Овакімян Л. А., Бодяк Ю. М., Борисенко М. С., Грабовська О. В.* Розроблення рецептури антивікового крему для обличчя з β -глюканом 160 *Sabadash N., Ovakimian L., Bodiak Y., Borysenko M., Hrabovska O.* Development of the formulation of anti-aging face cream with β -glucan
- Зміст журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» за 2022 рік 175 *Contents of the journal "Scientific Works of the National University of Food Technologies" for 2022*

EFFICIENCY OF USING ALUMINUM POLYOXYCHLORIDE FOR PURIFICATION OF DRINKING WATER

N. Husiatynska, O. Demenyuk, S. Shulga

National University of Food Technologies

Key words:

*Drinking water
Coagulant
Aluminum
polyoxychloride
Reagent cleaning
Cleaning efficiency*

Article history:

Received 08.11.2022
Received in revised form
25.11.2022
Accepted 05.12.2022

Corresponding author:

S.Shulga
E-mail:
obolonivna@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of research of the effectiveness of aluminum-containing coagulants for the purification of water of the Dnipro River. The surface waters of the Dnipro River basin are characterized by a high content of organic compounds of natural origin, the presence of which determines the coloration of the water and significantly affects the course of its purification processes. If the aluminum sulfate reagent is used to purify such water, there is need to increase the dose of the reagent, which can cause an increase in the content of residual aluminum in the purified water.

One of the technological solutions for increasing the efficiency of water purification is the replacement of traditional aluminum sulfate with modern highly effective reagents, in particular aluminum polyoxychloride. Based on the results of experimental studies, there was conducted a comparative analysis of the effectiveness of the use of aluminum sulfate coagulants and aluminum polyoxychlorides with different degrees of basicity. It was established that for the water of the Dnipro River, which is characterized by a high content of organic substances and coloration, the best results were obtained in case of using aluminum polyoxychloride with a degree of basicity of 35—45%. In general, the efficiency of water purification with polyoxychlorides is higher in comparison with aluminum sulfate according to the following quality indicators: coloration — by 10—15%; turbidity — 10%, total iron content — 20—25%; permanganate oxidizability — 15—20%.

The regression equation which describe the dependence of the above indicators of the quality of purified water on the dosage of reagents was developed. On the basis of the methods of optimization of technological processes, it was established that the rational dosage of polyoxychlorides for cleaning slightly turbid colored water of the Dnipro River is about 40—50 mg/dm³, and for aluminum sulfate — 90—100 mg/dm³.

The application of mathematical modeling and optimization methods in the practical determination of the rational dosage of coagulants for surface water of different quality makes it possible to effectively adjust the technological process in order to ensure the high quality of drinking water in accordance with regulatory requirements.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІОКСИХЛОРИДУ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

Н. А. Гусятинська, О. М. Деменюк, С. А. Шульга
Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати дослідження ефективності алюмо-вмісних коагулянтів для очищення природної води р. Дніпро. Поверхневі води басейну річки Дніпро характеризуються високим вмістом органічних сполук природного походження, наявність яких зумовлює кольоровість води та суттєво впливає на перебіг процесів очищення. У разі використання для очищення такої води реагенту сульфату алюмінію виникає потреба збільшенні дози реагенту, що може спричинити підвищення вмісту залишкового алюмінію в очищеній воді.

Одним із технологічних рішень щодо підвищення ефективності очищення води є заміна традиційного сульфату алюмінію сучасними високоефективними реагентами, зокрема поліоксихлоридом алюмінію (ПОХА). За результатами експериментальних досліджень проведено порівняльний аналіз ефективності застосування коагулянтів сульфату алюмінію та поліоксихлоридів алюмінію з різним ступенем основності. Встановлено, що для природної води р. Дніпро, яка характеризується високим вмістом органічних речовин і забарвленості, найкращі результати одержано в разі застосування поліоксихлориду алюмінію зі ступенем основності 35–45%. Загалом ефективність очищення води поліоксихлоридами порівняно із сульфатом алюмінію вища за такими показниками якості: забарвленості — на 10–15%; каламутності — 10%, вмісту заліза загального — 20–25%; перманганатної окиснюваності — 15–20%.

Розроблено рівняння регресії, що описують залежності вищезазначених показників якості очищеної води від дозування реагентів. На основі методів оптимізації технологічних процесів встановлено, що раціональне дозування поліоксихлоридів для очищення малокаламутної кольорової природної води річки Дніпро складає 40–50 мг/дм³, а для сульфату алюмінію — 90–100 мг/дм³.

Застосування методів математичного моделювання та оптимізації при практичному визначенні раціонального дозування коагулянтів для поверхневих вод різної якості дає змогу ефективно корегувати технологічний процес задля забезпечення високої якості питної води відповідно до нормативних вимог.

Ключові слова: питна вода, коагулянт, поліоксихлорид алюмінію, реагентне очищення, ефективність очищення.

Постановка проблеми. Багаторічне забруднення природних водойм промисловими та сільськогосподарськими стоками призвело практично до повної втрати джерел води, які б могли беззастережно використовуватися для питного водопостачання. Усвідомлюючи згубність споживацького підходу до водних ресурсів, у світі залучається потужний науково-технічний потенціал для досліджень, вишукуються ефективні технології водопідготовки для усунення несприятливих антропогенних впливів (Coward, Tribe, & Harvey, 2018).

Система забезпечення населення питною водою гарантованої якості повинна базуватися на впровадженні сучасних технологій водопідготовки, споруд, реагентів, матеріалів та обладнання, а також відновленні мережевих систем розподілу питної води. Особливої уваги потребує питання розробки нових ефективних методів очищення природних вод та удосконалення існуючих технологічних процесів підготовки питної води (Чорна, & Гусятинська, 2019; Onyango, Quinn, Tng Wood, & Leslie, 2015).

Велике значення надається реагентам, які застосовуються для очищення води, зокрема коагулянтам і флокулянтам неорганічної або органічної природи. Водночас слід зазначити, що на водопровідних станціях виникають труднощі з виконанням гігієнічних нормативів, зокрема з каламутністю й залишковим алюмінієм, унаслідок неефективного проведення процесу коагуляції (Корінько, & Панасенко, 2012), тому одним із важливих завдань у технології водопідготовки є підвищення ефективності реагентного очищення води.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Головним джерелом питного й технологічного водопостачання є поверхневі та підземні води. Для України основним поверхневим джерелом питної й технологічної води є річка Дніпро. Проте в останні десятиліття через складну екологічну ситуацію та високий рівень забруднення вода р. Дніпро стає малоприсадною для питного водопостачання. У р. Дніпро щороку близько 10 тис. підприємств скидають понад 10 км³ стічних вод, з яких 15% — це скидні води без очищення (Долінський, Ободович, & Сидоренко, 2018). Оброблення води коагулянтами є найбільш розповсюдженим методом очищення великих об'ємів вод від грубодисперсних і колоїдних забруднень. У типовій схемі очищення вод з поверхневих джерел застосовуються традиційні методи прояснення та знебарвлення води — коагуляція і флокуляція, оскільки для очищення природних вод, особливо поверхневих, велике значення має процес розділення твердих речовин і рідини (Радовенчик, Костриця, & Радовенчик, 2013). Коагуляція відіграє важливу роль у процесах водоочищення для видалення завислих колоїдних часток, які можуть знижувати органолептичні показники якості питної води, надаючи їй неприємного смаку, кольору, запаху або мутності (Корінько, & Панасенко, 2012).

Коагуляція — це процес злипання часточок у колоїдних системах з утворенням більш чи менш крупних агрегатів, що призводить до порушення агрегативної стійкості поля (Запольський, 2011). При введенні у воду солей алюмінію та заліза в результаті гідролізу утворюються малорозчинні у водному середовищі гідроксиди. В процесі гідролізу відбувається зниження агрегативної стійкості системи під дією електроліту (введеної солі), сорбція іонів на поверхні часток та утворення в результаті хімічної реакції нових сполук, що мають гідрофобні властивості (Гомеля, Красильников, & Яцюк, 2006).

Фізико-хімічна теорія коагуляційного очищення води дає змогу сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо оптимізації технологічного процесу підготовки якісної питної води з природних вод. Розрізняють коагуляцію нейтралізаційну, концентраційну і специфічну (під дією різних фізичних факторів — механічних, випромінювань, дії електричного поля тощо) (Запольський, 2011). Удосконалення процесу коагуляції проводиться як за напрямками застосування нових реагентів, так і методів коагуляції (Шкавро, Антонюк, 2014; New ecoinno-

vative drinking water treatment based on 1-step chemical technology using a multifunctional natural polymer, 2022).

Наразі пропонуються для використання ряд коагулянтів на основі солей алюмінію і заліза, таких як сульфат алюмінію, гідроксохлорид алюмінію, гідроксо-сульфат алюмінію, алюмінат натрію, хлорид заліза, сульфат заліза, але найбільшого розповсюдження в технології очищення питної води отримали сульфат алюмінію та хлорид заліза (III). Зазначені реагенти мають достатньо велику ефективність, проте вони не позбавлені рядусуттєвих недоліків. Так, наприклад, сульфат алюмінію є недостатньо ефективним при зниженні температури води в зимовий період або при зниженні $\text{pH} < 6$ бочищуваної води. При значеннях $\text{pH} > 8,0$ спостерігається утворення розчинних комплексів алюмінію, що впливає на зниження ефекту очищення та збільшення вмісту залишкового алюмінію у питній воді (Душкин, Сорокіна, Аль, & Благодарна, 2001). Сполуки заліза, у свою чергу, можуть утворювати комплекси з рядом органічних речовин. Окрім цього, в процесі розчинення залізовмісних реагентів виникають технічні складнощі, що пов'язано із сильною корозійною активністю розчинів коагулянтів (Мамченко, Герасименко, Дешко, & Пахарь, 2006).

У праці (Dushkin, & Shevchenko, 2020) описано застосування розчину сульфату алюмінію, модифікованого магнітним полем та електрокоагуляцією у процесах підготовки питної води. Модифікація розчину коагулянту надає можливість інтенсифікувати процеси очищення води та зменшити витрату реагентів на 25—30%.

Альтернативою для традиційних коагулянтів можуть слугувати реагенти на основі поліоксихлориду алюмінію різної основності. За даними дослідників (Душкин, Сорокіна, Аль, & Благодарна, 2001) поліоксихлорид алюмінію володіє здатністю утворювати комплексні сполуки з багатьма органічними і неорганічними речовинами у воді. Це пов'язано з тим, що він має так звану поверхневу кислотну оболонку. Ця властивість забезпечує високу ефективність очищення води від завислих речовин і металів. Дослідження різних авторів підтверджують високу ефективність використання оксихлориду алюмінію. Так, у працях (Гомеля, Красильников, & Яцюк, 2006; Токарева, & Масакбаева, 2020) наведено ряд переваг, що мають безпосередньо вплив і на економічні показники (порівняно з традиційним сульфатом алюмінію): ефективніше знижується каламутність води; забезпечується більш висока швидкість пластівцеутворення й осадження утворених пластівців, що дає змогу скоротити час процесу; незначно знижується pH і лужний резерв очищуваної води; забезпечується достатньо висока коагуляційна здатність за низьких температур.

Одним із найбільш важливих технологічних параметрів процесу очищення води коагуляцією є доза коагулянту. Оптимальна величина дозування залежить від властивостей дисперсної системи: температури, кількості зважених і колоїдно-дисперсних речовин, забарвленості, іонного складу, значення pH та інших фізико-хімічних показників води. Доза коагулянту та інші параметри коагуляції мають забезпечувати оптимальні умови перебігу процесу за унеможливлення небажаних побічних явищ. Так, за недостатньої дози коагулянту не досягається необхідний ефект очищення, а в разі надлишку — поряд з надвитратами вартісних реагентів в окремих випадках може й погіршитися ефективність коагуляції, також за певних умов спостерігається підвищення вмісту залишкового алюмінію в

очищеній воді. Значний вплив на дозу коагулянту має температура та каламутність води (Запольський, 2011).

Для забезпечення достатньої ефективності очищення природної води від домішок проводяться попередні дослідження з метою визначення якості її обробки саме конкретним реагентом у певній технології водопідготовки. На основі пробної коагуляції, залежно від якості природної води і схеми її очищення, здійснюється раціональний вибір реагентів та їх доз (Ярошевская, Сергиенко, & Шкавро, 2005).

Отже, обґрунтований вибір реагентів і їх дозування значною мірою може інтенсифікувати процес коагуляційного очищення і підвищити його ефективність.

Мета дослідження: узагальнення результатів експериментальних досліджень ефективності поліоксихлоридів алюмінію різної основності та застосування методів математичного моделювання й оптимізації для визначення раціонального дозування коагулянтів у технології очищення природної води р. Дніпро.

Матеріали і методи. Для досліджень процесу коагуляційного очищення води використовували такі реагенти: сульфат алюмінію (СА) очищений, сухий з вмістом оксиду алюмінію (Al_2O_3) 16%; поліоксихлорид алюмінію (I) — розчин з масовою часткою Al_2O_3 20%, хлорид-іонів Cl 12,5%, основністю 65—72%; поліоксихлорид алюмінію (II) — розчин з масовою часткою Al_2O_3 17%, хлорид-іонів Cl 22%, основністю 35—45%. Коагулянти додавались до вихідної води у вигляді 10-відсоткового розчину, перерахунок дозування здійснювали у відсотках до кількості безводної діючої речовини.

Методика досліджень полягала в паралельному проведенні процесу пробної коагуляції в лабораторних умовах у разі використання вищезазначених реагентів. Згідно з методикою до проб річкової води (р. Дніпро) об'ємом 1 дм^3 додавали 10-відсотковий розчин коагулянту в кількості, що відповідає діапазону від 12,5 до 100 мг активної речовини на 1 дм^3 води. Для забезпечення умов ефективного змішування коагулянтів з водою посудину поміщали на магнітну мішалку, де проводили перемішування протягом 2 хв за режиму 400 об/хв. Після цього частоту обертів знижували до 50 об/хв з метою створення сприятливих умов для пластівцеутворення за тривалості процесу 10 хвилин. Далі здійснювали прояснення одержаної суспензії шляхом відстоювання протягом 30 хвилин. Заключною стадією очищення було фільтрування проясненої води крізь шар кварцового піску з діаметром 0,7—0,8 мм.

Для досліджень використовували воду р. Дніпро (жовтень), основні показники хімічного складу якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Показники якості води р. Дніпро до очищення

Найменування показника	Одиниці виміру	Нормативне значення для питної води ДСанПіН 2.2.4-171-10	Вода р. Дніпро
Забарвленість	град	≤ 20	41,0
Каламутність	НОК	$\leq 1,5$	3,81
Перманганатна окиснюваність	мг O_2 /дм ³	$\leq 5,0$	12,16
Загальне залізо	мг/дм ³	$\leq 0,2$	0,39
Алюміній	мг/дм ³	$\leq 0,2$ (0,5)	0,1

Примітка. Норматив, зазначений у дужках, установлюється для питної води, обробленої реагентами, що містять алюміній.

У пробах води після коагуляційного очищення визначали такі показники: забарвленість, каламутність, перманганатна окиснюваність, загальне залізо, залишковий вміст алюмінію. Забарвленість і каламутність визначали фотометрично, вміст загального заліза — фотометричним методом з сульфосаліциловою кислотою, вміст алюмінію — фотометричним методом з алюміноном, перманганатну окиснюваність — за стандартною методикою.

Математична обробка результатів дослідження проведена за допомогою пакета прикладних програм MathCAD Professional та Microsoft Excel.

Результати і обговорення. Як демонструють результати дослідження, наведені в табл. 1, вихідна вода р. Дніпро відноситься до малокаламутних кольорових вод. Для води басейну р. Дніпро характерним є високий вміст природних органічних сполук (ПОС), які суттєво впливають при водоочищенні на якість отримуваної питної води. Природні органічні сполуки (ПОС) у воді поверхневих джерел питного водопостачання являють собою складну гетерогенну суміш органічних сполук, які є продуктами розпаду залишків тваринного і рослинного походження. Вони складаються з гумнових сполук, гідрофільних кислот, протеїнів, ліпідів, карбоксильних кислот, полісахаридів, амінокислот, вуглеводнів (Клименко, Самсоні-Годорова, & Засядько, 2012). Наявність ПОС у воді суттєво впливає на ефективність перебігу багатьох процесів обробки води (окислення, коагуляція, адсорбція), зумовлює кольоровість природної води, обумовлює появу у воді вторинних продуктів забруднення, визначає її біологічну стабільність. Необхідно відмітити, що показник перманганатної окиснюваності, який є узагальненою характеристикою вмісту органічних речовин, у досліджуваній дніпровській воді був завищений у 2,5 рази, якщо порівняти з вимогами ДСанПіН 2.2.4-171-10. Що стосується забарвленості і вмісту загального заліза, то показники вихідної води вдвічі перевищують нормативні значення для питної води. Відповідно до рекомендацій ДБН В.2.5-74:2013, дозування коагулянту для очищення такої води слід підбирати з огляду на ефективність зниження показника кольоровості.

У результаті аналізу результатів досліджень з різними дозами алюмовмісних реагентів отримано криві коагуляції (рис. 1) — зміни значень кольоровості та каламутності річкової води після очищення.

Як демонструють наведені графіки (рис. 1), зниження каламутності води до нормативних показників (1 НОК — для водопровідної води), відбулося з усіма реагентами однаково добре. Так, за дозування 25 мг/дм³ в усіх випадках маємо задовільний результат. Водночас зміна забарвленості води відбувається менш ефективно: за дозування 25 мг/дм³ нормативного значення (20 град) вдалося досягнути лише після застосування поліоксихлоридів алюмінію, сульфат алюмінію при цьому дозуванні забезпечив зниження лише на 5 град. Досягнення нормативного значення забарвленості питної води у разі застосування сульфату алюмінію спостерігалось при збільшенні витрати майже вдвічі (45 мг/дм³).

Аналіз зміни показників перманганатної окиснюваності (ПО) та вмісту загального заліза (рис. 2) залежно від дозування алюмовмісних коагулянтів показав, що забезпечення нормативного показника ПО в питній воді (рис. 2, а) потребує збільшення дозування для всіх досліджуваних реагентів. Якщо при використанні поліоксихлоридів алюмінію для цього достатньо було підвищити витрату до

35 мг/дм³ (ПОХА II) та до 40—45 мг/дм³ (ПОХА I) для досягнення нормативних 5 мг О₂/дм³, то для сульфату алюмінію дозування становило близько 100 мг/дм³.

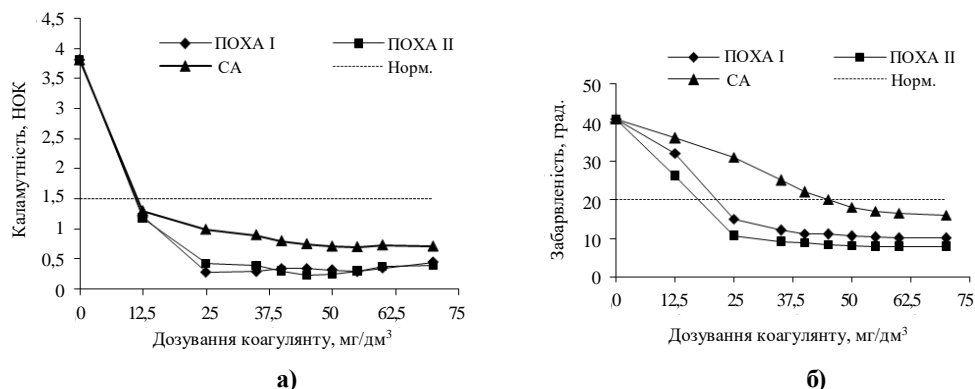


Рис. 1. Залежності каламутності (а) та кольоровості (б) води від дозування коагулянтів: сульфату алюмінію (СА), поліоксихлориду алюмінію різної основності (ПОХА I та ПОХА II)

Варто відмітити, що кращі результати з осадження органічних речовин у процесі коагуляції забезпечив поліоксихлорид алюмінію з середньою основністю та вищим вмістом хлорид-іонів.

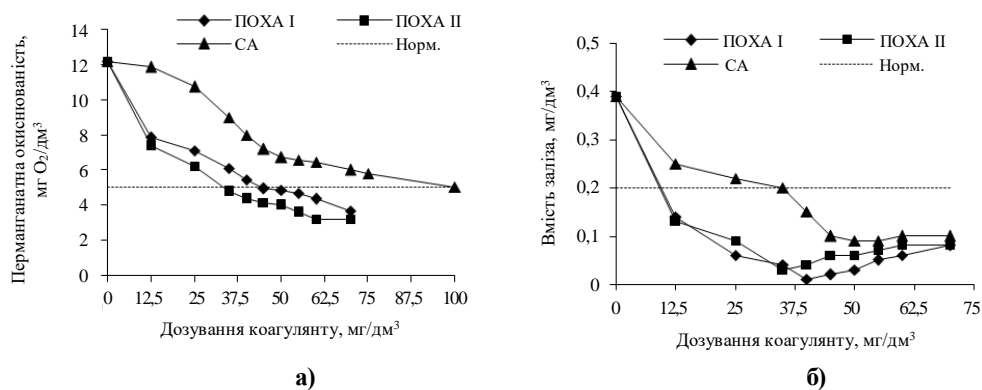


Рис. 2. Залежність перманганатної окиснюваності (а) та вмісту загального заліза (б) у воді від дозування коагулянтів: сульфату алюмінію (СА), поліоксихлориду алюмінію різної основності (ПОХА I та ПОХА II)

Вміст заліза у воді після очищення поліоксихлоридами алюмінію знизився майже до нуля мг/дм³ (рис. 2, б). Для досягнення нормативного показника 0,2 мг/дм³ достатнім було дозування коагулянту ПОХА (I та II) близько 12,5 мг/дм³. Що стосується сульфату алюмінію, то лише за дозування 35 мг/дм³ досягалося нормативне значення вмісту загального заліза у воді.

Важливим показником якості питної води при технології очищення з використанням алюмовмісних коагулянтів є контроль вмісту залишкового алюмінію, оскільки алюміній належить до токсичних елементів. Токсичність алюмінію виявляється у впливі на обмін речовин, особливо мінеральний, на функцію нерво-

вої системи, у спроможності діяти безпосередньо на клітини (їх розмноження і зростання) (Гончарук, 2005). На рис. 3 представлено зміну вмісту залишкового алюмінію в очищеній воді від дозування досліджуваних коагулянтів: сульфату алюмінію та поліоксихлоридів алюмінію (ПОХА I, ПОХА II). Необхідно зазначити, що нормативний показник вмісту алюмінію у водопровідній воді, згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10, становить 0,2 мг/дм³, але дозволяється до 0,5 мг/дм³ для питної води, обробленої реагентами, що містять алюміній (ДСанПіН 2.2.4-171-10, 2010).

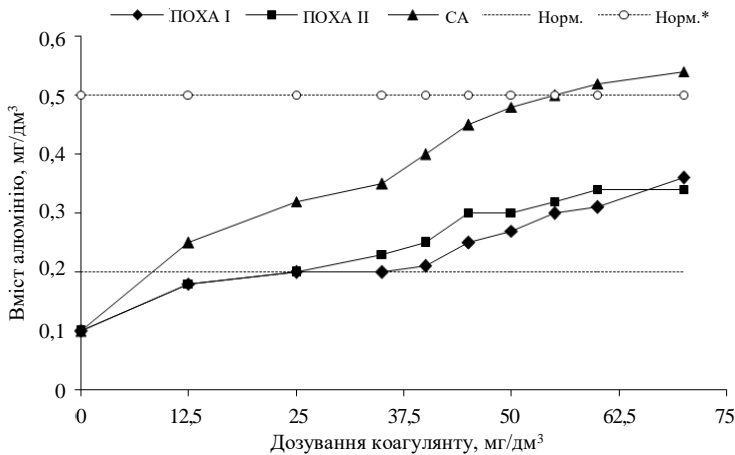


Рис. 3. Залежність вмісту залишкового алюмінію в очищеній воді від дозування коагулянтів: сульфату алюмінію (СА), поліоксихлориду алюмінію різної основності (ПОХА I та ПОХА II)

Проведені дослідження показали, що в разі застосування сульфату алюмінію залишковий вміст алюмінію у воді був вищим на 20—40%, якщо порівняти із застосуванням ПОХА.

Для узагальнення результатів експериментальних досліджень обрано рівняння регресії у вигляді квадратичного полінома:

$$F(x) = a_0 + a_1p + a_2p^2 + a_3p^3. \quad (1)$$

Шляхом математичного оброблення масиву експериментальних даних визначено коефіцієнти для вище наведеного рівняння регресії та одержано відповідні залежності $f_1 \dots f_4$ досліджуваних показників очищеної води (в натуральних значеннях) від дозування коагулянту (p , мг/дм³) певного виду:

f_1 — забарвленість, град.;

f_2 — каламутність, нефелометрична одиниця каламутності НОК;

f_3 — вміст залишкового алюмінію, мг/дм³;

f_4 — перманганатна окиснюваність, мгО₂/дм³.

У табл. 2 наведено значення коефіцієнтів $a_0 \dots a_3$ для коагулянтів ПОХА (I, II) та СА.

Для переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму використано метод Харрінгтона.

Таблиця 2. Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Функції	Коефіцієнти рівняння регресії			
	a_0	a_1	a_2	a_3
<i>Для сульфату алюмінію</i>				
f_1	45,146	-0,738	0,00477	0
f_2	1,553	-0,0343	0,00048	0
f_3	0,187	0,00497	0,00002	0
f_4	14,21	-0,179	0,00072	0
<i>Для ПОХА I</i>				
f_1	62,924	-3,229	0,064	-0,0004
f_2	3,177	-0,203	0,0043	-0,00003
f_3	0,235	-0,0063	0,002	0
f_4	9,008	-0,082	-0,00046	0,00001
<i>Для ПОХА II</i>				
f_1	54,368	-3,01	0,062	-0,00042
f_2	2,677	-0,157	0,0032	-0,00002
f_3	0,141	0,0038	-0,00007	0
f_4	9,462	-0,185	0,0002	0,00001

Узагальнений критерій оптимізації розраховано за формулою:

$$Ff_j = (ff1_j)^{0,2} \cdot (ff2_j)^{0,2} \cdot (ff3_j)^{0,2} \cdot (ff4_j)^{0,3} \cdot (ff5_j)^{0,1}, \quad (2)$$

де $ff1_j$ — забарвленість; $ff2_j$ — каламутність; $ff3_j$ — вміст залишкового алюмінію; $ff4_j$ — перманганатна окиснюваність; $ff5_j$ — мінімізація дозування.

За результатами вирішення задач оптимізації встановлено, що раціональні витрати досліджуваних реагентів для очищення річкової води з високими показниками забарвленості та перманганатної окиснюваності складають для реагентів на основі поліоксихлориду алюмінію, відповідно, ПОХА I — 43,9 мг/дм³, ПОХА II — 33,4 мг/дм³ (за значення узагальненого критерію оптимізації $Ff = 0,8$), сульфату алюмінію — 59,6 мг/дм³ (за $Ff = 0,65$).

З метою порівняння якості очищення води досліджуваними реагентами порівняно ефект зниження показників забарвленості, каламутності, перманганатної окиснюваності і загального заліза в результаті коагуляційного очищення (враховувалися значення кожного показника, якого вдалося досягти за раціонального дозування). Результати відображені в табл. 3.

Таблиця 3. Усереднені значення ефектів очищення річкової води алюмовмісними коагулянтами за розрахункового значення їх раціонального дозування

Показник	Ефект очищення, %		
	ПОХА I (43,9 мг/дм ³)	ПОХА II (33,4 мг/дм ³)	Сульфат алюмінію (59,6 мг/дм ³)
Забарвленість	73,2	78	59,8
Каламутність	91	89,7	80,8
Загальне залізо	94,8	92,3	74,4
Перманганатна окиснюваність	59,2	59,3	46,9

Наведені в табл. 3 результати демонструють, що в разі застосування коагулянтів на основі ПОХА за раціональних витрат досягаються високі значення ефектів очищення за різними групами показників, зокрема за каламутністю та загальним залізом ефект очищення становить близько 90—95%. Сучасні алюмовмісні реагенти якісно очищують воду із завищеними показниками кольоровості, вмісту органічних речовин і загального заліза, при цьому їх витрати на процес очищення є нижчими за витрати сульфату алюмінію. Лімітуючим фактором при очищенні води був показник перманганатної окиснюваності, що зумовлено його високим значенням у вихідній воді. Ефект видалення сполук, що зумовлюють перманганатну окиснюваність, у разі визначених раціональних витрат для реагентів ПОХА I та ПОХА II, досягав близько 59—60%, що забезпечувало зниження показника ПО в очищеній воді до 4,95 мг/дм³ відповідно до вимог ДСанПіН2.2.4-171-10 ($\leq 5,0$). У разі очищення завстановлених раціональних витрат сульфату алюмінію значення перманганатної окиснюваності води не відповідало нормативним значенням, що вимагає додаткової обробки вихідної води перед коагуляційним очищенням або ж використання більш ефективних коагулянтів, зокрема поліоксихлориду алюмінію.

Водночас необхідно зазначити, що вміст сполук перманганатної окиснюваності в річковій воді залежить від багатьох факторів і значно змінюється протягом року. На рис. 4 наведено усереднену залежність ефекту видалення органічних сполук, які зумовлюють перманганатну окиснюваність, при очищенні води зазначеними коагулянтами. При цьому, як показали дослідження, ефект видалення незначно залежить від вихідного показника ПО та корелюється з витратами реагенту, що дає змогу в цілому корегувати витрати реагенту залежно від показника ПО.

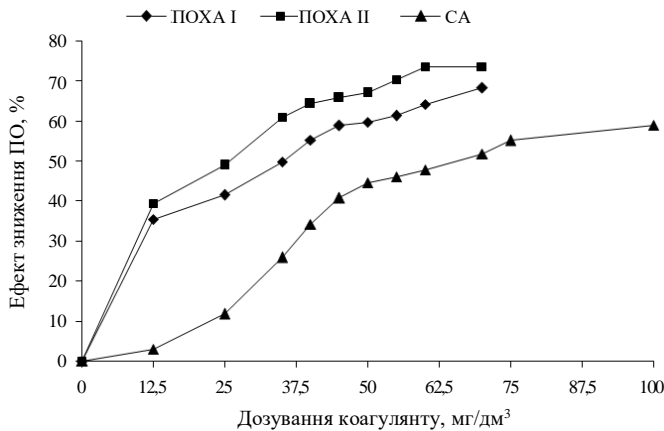


Рис. 4. Ефект зниження показника перманганатної окиснюваності річкової води у процесі коагуляційного очищення

Одержані графічні залежності (рис. 4) описуються такими рівняннями регресії:

- для сульфату алюмінію: $y = -0,0054x^2 + 1,224x - 6,838$;

- для ПОХА I: $y = -0,009x^2 + 1,531x + 7,789$;

- для ПОХА II: $y = -0,012x^2 + 1,813x + 9,01$,

де x — дозування коагулянту, мг/дм³.

Для більш точного встановлення оптимального дозування доцільним є проведення пробного коагулювання з визначенням ряду основних показників (забарвленості, каламутності, перманганатної окиснюваності, залишкового вмісту алюмінію тощо) та їх оброблення за запропонованим методом з використанням загального критерію оптимізації.

Висновки

Як показали експериментальні дослідження, вищу ефективність очищення одержано в разі використання поліоксихлориду алюмінію (ПОХА II) із середньою основністю (35—45%), лише за показником загального заліза поліоксихлорид алюмінію (ПОХА I) з високою основністю (65—72%) показав дещо кращий результат. Загалом, якість очищення поліоксихлоридами порівняно із сульфатом алюмінію вища на 10—15% по забарвленості, на 10% — по каламутності, на 20—25% — по загальному залізу і на 15—20% — по перманганатній окиснюваності. При цьому раціональне дозування поліоксихлоридів для очищення малокаламутної кольорової природної води річки Дніпро склала 33—44 мг/дм³, а для сульфату алюмінію — близько 58—60 мг/дм³.

Отже, можна зробити висновок, що застосування поліоксихлоридів алюмінію забезпечує вищу ефективність очищення і, відповідно, якість води, якщо порівняти з традиційним використанням сульфату алюмінію.

Література

Гомеля, Н. Д., Красильников, Т. Н., Яцюк, П. А. (2006). Получение и оценка эффективности новых алюминиевых коагулянтов в процессах обезжелезивания воды. *Экотехнологии и ресурсосбережение*, 3, 51—55.

Гончарук, В. В. (Ред.). (2005). *Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды: монография*. Киев: Наукова думка.

Долінський, А. А., Ободович, О. М., Гусятинська, Н.А., Сидоренко, В. В. (2018). Реалії сьогодення та перспективи майбутнього підготовки питної та технологічної води. *Наукові праці НУХТ*, 23(2), 247—255. Взято з: http://sw.nuft.edu.ua/Archiv/2018/swnuft_24_2.pdf.

ДСанПіН2.2.4-171-10. (2010). Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>.

Душкин, С. С., Сорокина, К. Б., Аль, А. М., Благодарна, Г. М. (2001). *Способ подготовки воды с использованием в качестве коагулянта соли алюминия*. Харьков.

Запольський, А. К. (2011). *Очистка воды коагулированием*. Каменец-Подольский, ЧП «Медоборь».

Клименко, Н. А., Самсоны-Годорова, Е. А., Савчина, Л. А., Чеховская, Т. П., Лавренчук, И. Н., Засядько, Т. Н. (2012). Сезонные колебания содержания различных форм органического углерода в днепровской воде и их изменение в процессах водоподготовки. *Химия и технология воды*, 34 (2), 195—205. Взято з <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/130704/08-Klimenko.pdf?sequence=1>.

Корінько, І. В., Панасенко, Ю. О. (2012). *Інноваційні технології водопідготовки*. Харків: ХНАМГ.

Мамченко, А. В., Герасименко Н. Г., Дешко І. І., Пахарь Т. А. (2006). Эффективность использования смешанных реагентов на основе солей алюминия и железа для очистки воды. *Химия и технология воды*, 6 (6), 582—592.

Радовенчик, Я. В., Костриця, А. О., & Радовенчик, В. М. (2013). Flocculants for natural water clarification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, No. 6 (64), 23—26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.16696>.

Токарева, А. В., Масакбаева, С. Р. (2020). Оксихлорид алюминия — коагулянт для подготовки воды питьевого водоснабжения. *Наука и техника Казахстана*, 2, 58—64. Взято з: <https://stk.tou.edu.kz/storage/journals/72.pdf>.

Чорна, Т. М., Гусятинська, Н. А. (2019). *Екологічні та економічні аспекти питного водопостачання в Україні*. ЕТЕВК-2019 міжнародний конгрес та технічна виставка: зб. допов., 10—14 червня 2019 р., м. Чорноморськ, Україна. Чорноморськ. Взято з: https://card-file.ontu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/17406/1/ЕТЕВК_19_Strikalenko1.pdf.

Шкавро, З. М., Антонюк, Н. Г. (2014). Теорія і практика використання коагулянтів у технології водоочищення. *Наукові записки*, 157, 65—78. Взято з: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=NaUKM Achem_2014_157_13.

Ярошевская, Н. В., Сергиенко, А. Н., Муравьев, А. Н., Шкавро, З. Н. (2005). Оценка особенностей процесса коагуляционной очистки воды на основании кривых коагуляции. *Химия и технология воды*, 27 (2), 173—183. Взято з <https://core.ac.uk/download/pdf/149241528.pdf>.

Coward, T., Tribe, H., Harvey, A. P. (2018). Opportunities for process intensification in the UK water industry: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 21, 116—126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.11.010>.

Dushkin, S., Shevchenko, T. (2020). Applying a modified aluminum sulfate solution in the processes of drinking water preparation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, No. 10(106), 26—36. doi:10.15587/1729-4061.2020.210096.

New eco-innovative drinking water treatment based on 1-step chemical technology using a multi-functional natural polymer (2022). Взято з: https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=7641.

Onyango, L. A., Quinn, C., Tng, K. H., Wood, J. G., Leslie, G. (2015). A Study of Failure Events in Drinking Water Systems as a Basis for Comparison and Evaluation of the Efficacy of Potable Reuse Schemes. *Environmental Health Insights*, 9 (3), 11—18. doi: <https://doi.org/10.4137/ehi.s31749>.