

[0000-0002-5937-167X] **Т. В. Солодовнік**, к.х.н., доцент,

e-mail: solodovniktetana@gmail.com

[0000-0001-9469-8240] **І. К. Якименко**, аспірант

e-mail: yakimenko97@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ФЛОКУЛЯЦІЙНО-КОАГУЛЯЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ЗАБАРВЛЕНИХ ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ

Проаналізовано проблеми, які виникають у процесі очищення промислових стічних вод, а також методи їх очищення від різного типу забруднювачів. У ході роботи досліджено вплив застосування природних флокулянтів, які використовували сумісно з типовим коагулянтом, на ступінь та швидкість очищення модельних розчинів, які містять різні типи барвників та зважені частинки. Встановлено переваги та недоліки різних типів природних флокулянтів на прикладі хітозану та альгінату натрію при їх сумісній дії з традиційним коагулянтом – алюмінієм сірчанокислим. При проведенні досліджень з підбору найбільш ефективних реагентів у процесі очищення конкретної стічної води, а також для визначення їх оптимальних доз використовувався метод Джар-тесту. Дослідження складу мутних та забарвлених модельних зразків води проводилося з використанням сучасних методів аналізу: спектрофотометрії та нефелометрії.

Ключові слова: стічні води, очищення, коагуляція, кольоровість, мутність, коагулянти, флокулянти.

Вступ. Відомо, що стічні води, які утворюються в результаті діяльності промислових підприємств, характеризуються великими об'ємами утворення, нестійким хімічним складом, вони є небезпечними джерелами забруднення природних вод, а також чинять антропогенне навантаження на навколишнє середовище. В зв'язку з тим, що промислові стоки утворюються несистематично, це створює певні технологічні перешкоди для їх утилізації. Вже доведено, що одним із пріоритетних завдань у вирішенні питання утилізації та знешкодження стічних вод має бути створення оптимального методу очищення для кожного виду виробничих стічних вод. Як приклад можна розглянути підприємства легкої промисловості, де забруднення водоймищ відбувається внаслідок безперервної роботи текстильних фабрик і комбінатів, виробничих дільниць з дублення шкіри тощо.

Щороку одна фабрика витрачає в середньому 350 млн м³ води. Стічні води такого підприємства характеризуються основними забруднюючими речовинами, такими як: миючі засоби (50–120 мг/дм³), завислі речовини (250–400 мг/дм³), барвники, сульфати, фосфати, хлориди, сполуки важких та кольорових металів, легкоспливаючі агресивні речовини.

На території України розташовано близько 28 текстильних комбінатів, кожен з яких щороку витрачає близько 400 млн л води, і з кожним роком ця кількість збільшується, очищення ж цих вод проводять на застарілих очисних станціях, що, в свою чергу, не може гарантувати якісного очищення. В зв'язку з цим актуальним є питання розробки й удосконалення методів очищення стічних вод текстильних підприємств на території України з використанням природних та екологічно безпечних реагентів.

Склад стічних вод та їх властивості оцінюють за результатами санітарно-хімічного аналізу, що включає, поряд зі стандартними хімічними тестами, ряд фізичних, фізико-хімічних і санітарно-бактеріологічних визначень. Мутність – властивість води, яка обумовлена присутністю в ній завислих речовин органічного і мінерального походження. Мутність тісно пов'язана з іншими властивостями води, перш за все, з кольоровістю, запахом і присмаком. Кольоровість – один із органолептичних показників якості стічних вод. Наявність інтенсивної кольоровості різних відтінків – свідомо присутності виробничих стічних вод. Для пофарбованих стічних вод визначають інтенсивність кольоровості за розведенням до безкольорової, наприклад 1:400, 1:250 і т. д. [1].

Барвники – органічні сполуки, що характеризуються здатністю інтенсивно поглинати та перетворювати енергію електромагнітних випромінювань (світлову енергію) у видимій і ближніх ультрафіолетових та інфрачервоних областях спектра і застосовані для надання цієї властивості іншим тілам. Водорозчинні барвники, що мають найбільше значення у формуванні складу стічних вод, широко застосовують у легкій промисловості, фарбувально-оброблювальному, текстильному, трикотажному, прядильно-нитковому, трикотажно-панчішному, хутряному, валяльно-войлочному виробництвах. Більша кількість барвників надходить у стічні води від анілін-фарбувальної промисловості. Очищення стічних вод від барвників проводять різними методами. В основному застосовують хімічні, фізико-хімічні та біологічні методи.

Вивчення робіт сучасних науковців вказує на постійний розвиток та удосконалення методів очищення стічних вод від барвників у напрямі підвищення їх ефективності, спрощення у виконанні, а також пошуку більш дешевих та безпечних реагентів [2]. Для видалення різного типу барвників зі стічних вод розробляються нові методики та синтезуються нові типи коагулянтів, флокулянтів та адсорбентів.

Дослідниками [3] було розроблено адсорбент на основі нановолокон із поліетилсульфону, який призначений для видалення барвників, та доведено його ефективність на прикладі сорбції барвника метиленового синього з водних розчинів.

Автори [4] досліджували особливості процесів вилучення барвників, а саме бром фенолового синього, при використанні технології флотоекстракції. Відповідно до термодинамічних розрахунків було встановлено, що формування комплексу між іонами барвника та ПАР відбувається самочинно і не потребує накладання зовнішніх сил.

Згідно з проведеним оглядом та аналізом літературних джерел, які включають патенти, монографії та статті зарубіжних і вітчизняних авторів, встановлено, що процес коагуляції, який відбувається за рахунок адсорбційних властивостей коагулянтів та флокулянтів, широко застосовується в технологіях очищення як природних, так і промислових стічних вод від колоїдних частинок, радіонуклідів, фосфатів, барвників і завислих речовин. Встановлено, що найбільш поширеними у використанні є коагулянти, такі як алюміній та заліза сульфати,

хлорурід, ферум та алюміній хлорид, і флокулянти, такі як хітозан, насіння Моринги олійної та альгінат натрію [5-10].

Нині розглядаються перспективи вивчення властивостей промислових коагулянтів на основі алюмінію, оскільки вони характеризуються кращими реакційними властивостями та мають менший вплив на пришвидшення корозії апаратури, ніж залізовмісні коагулянти, та комплексну дію коагулянтів з природними флокулянтами, адже вони є екологічно чистими реагентами та більш ефективними, ніж синтетичні, для видалення різних типів барвників.

Процес коагуляції на практиці складається з коагуляції, флокуляції та сепарації. Після коагуляції дестабілізовані колоїди й інші осадки утворюють малі агрегати, які потім мають зростати в більші, міцні й компактні пластівці. Цей процес називається флокуляцією і визначається як процес контакту й адгезії, при якому дисперсні частинки потім мають бути відділені методом відстоювання, флотації або фільтрування. Також взято до уваги те, що процес коагуляції сумісний з такими видами очищення, як біологічне, озонування, знезараження та мембранні фільтри, що спрощує його застосування в технологічних схемах [11-14]. При виборі технології очищення стічних вод потрібно також звертати увагу на такі чинники, як кількість і характер забруднень, їх подальше використання, необхідність ступеня очищення тощо.

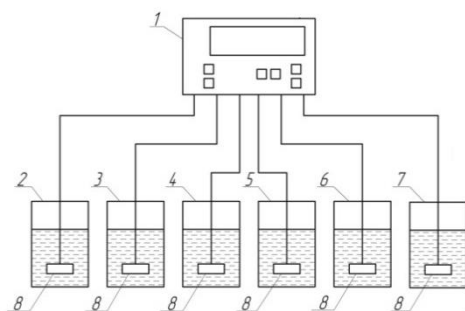
Метою дослідження є визначення закономірностей та способів удосконалення коагуляційно-флокуляційного очищення при використанні природних флокулянтів сумісно з традиційним коагулянтом.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктами дослідження були модельні розчини, подібні до стічних вод текстильних підприємств, з середнім ступенем забарвлення і середнім вмістом зважених частинок (вміст барвників та зважених частинок становить 200 мг/дм³). Для отримання модельних розчинів використовували барвники різних типів, а саме: активний синій, прямий чорний та дисперсний червоно-коричневий. Біла глина косметична застосовувалась для створення мутності. Як реагенти використовували 10 % розчин алюмінійвмісного коагулянту ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), а також 1 % розчини природних флокулянтів: альгінату натрію та хітозану зі ступенем деацетилювання 82 %.

Визначення кольоровості та мутності досліджуваних зразків проводили з використанням спектрофотометра Ulab 102 та мутно-міра ТВ 1000W за стандартними методиками [15]. Вимірювання рН розчинів проводили за допомогою іономіра лабораторного I-160MI.

Для визначення оптимальної дози коагулянту та флокулянтів ($\text{Me}/\text{дм}^3$) застосовували метод пробної коагуляції, так званий «Джар-тест» (JAR-test). Цей метод імітує виробничий процес, що дає змогу визначити ефективну дозу реагентів і оптимальні умови, які потрібні для утворення та осадження пластівців або спливання їх у вигляді осаду. Дослідження води проводиться після відстоювання. За даними досліджень якості обробленої води, що проводилися після відстоювання, обираються та доза реагентів і час, що сприяють утворенню більш щільного осаду з високими седиментаційними властивостями [1].

Для методу пробної коагуляції використовували стаціонарну установку, удосконалену в лабораторії дослідження води кафедри хімічних технологій та водоочищення ЧДТУ [16], схему якої зображено на рисунку 1.



1 – флокулятор Kemira 2000; 2-7 – лабораторні стакани об'ємом 1 дм^3 ; 8 – механічні мішалки

Рисунок 1 – Лабораторна установка для проведення Джар-тесту

Результати досліджень та їх обговорення

Визначення оптимальної дози коагулянту. Одним із завдань науково-дослідної роботи було визначення мінімальної робочої дози ($\text{Me}/\text{дм}^3$) коагулянту на лабораторній установці (рисунок 1). Шість лабораторних стаканів були заповнені досліджуваними модельними розчинами, в які одночасно було введено коагулянт зі збільшенням дози від 20 до $70 \text{ мг}/\text{дм}^3$ з кроком в $10 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Інтенсивне

перемішування зі швидкістю $140 \text{ об}/\text{хв.}$, що проводили впродовж трьох хвилин, відповідає стадії гідролізу коагулянту. З метою утворення пластівців швидкість перемішування була знижена до $50 \text{ об}/\text{хв}$ і залишалася сталою впродовж 10 хв.

Осадження пластівців у вигляді осаду відбувається на останній стадії процесу, тобто протягом періоду седиментації. Оцінювання якості очищення зразків на вміст залишкових концентрацій забруднюючих речовин було проведено через 60, 120 та 180 хв після початку седиментації шляхом відбору проб з кожного стакана на одній і тій же глибині відстоюного шару.

В процесі візуального спостереження за утворенням та осіданням осаду було встановлено оптимальну дозу коагулянту, яка визначалася для кожного з досліджуваних барвників у присутності зважених частинок. Отримані результати зображено у вигляді гістограм (рисунки 2, 3), які свідчать про те, що найменша доза коагулянту, яка необхідна для ефективного очищення забарвлених розчинів прямим, активним та дисперсним барвниками у присутності зважених частинок каоліну, відповідно становить 40, 50 та $40 \text{ мг}/\text{дм}^3$ а ефективне осадження відбувається впродовж двох годин.

Визначення оптимальної дози флокулянтів. Наступним завданням дослідження було визначення оптимальної дози флокулянтів (альгілату натрію і хітозану) при їх комплексній дії з коагулянтом. Для цього шість скляних стаканів було заповнено однаковим об'ємом досліджуваного модельного розчину, і в кожен із них додано оптимальну дозу коагулянту, яку було визначено на попередньому етапі. Перед зменшенням швидкості перемішування до $50 \text{ об}/\text{хв.}$ в стакани було додано 1 % розчин флокулянта – хітозану від 1 до 20 см^3 , що відповідає вмісту хітозану від 10 до $200 \text{ мг}/\text{дм}^3$, при цьому перший стакан залишався контрольним. Оцінювання якості очищення проводили через 60, 120 та 180 хв після початку процесу седиментації.

Аналогічно проводили визначення оптимальної дози флокулянта – альгілату натрію. Для цього було додано 1 % розчин флокулянта від 1 до 20 см^3 , що відповідає вмісту діючої речовини від 10 до $200 \text{ мг}/\text{дм}^3$, при цьому контрольним залишали перший стакан.

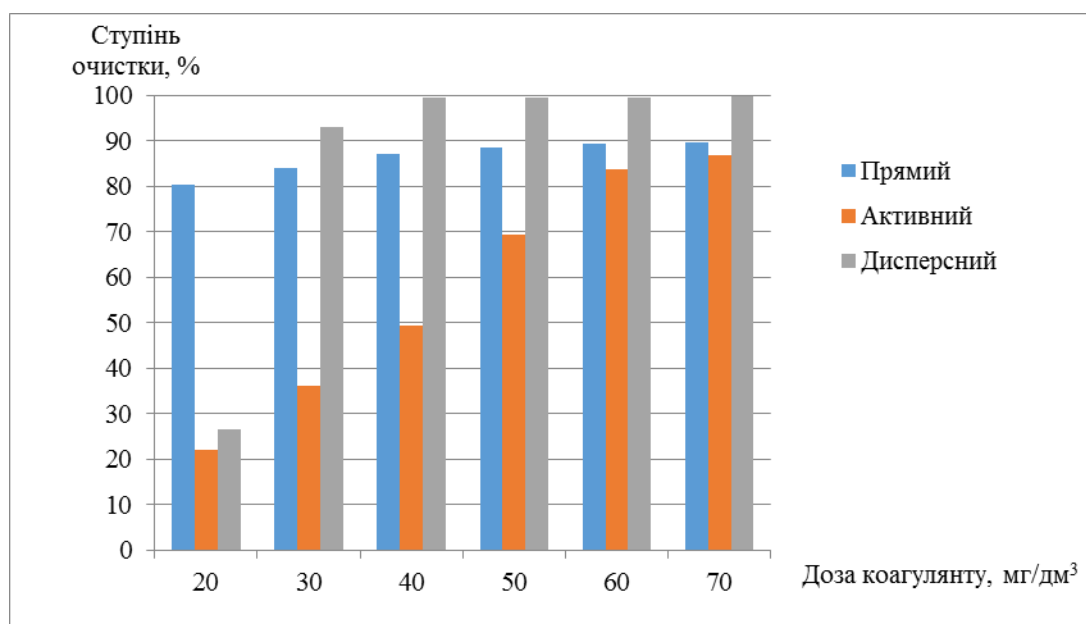


Рисунок 2 – Залежність ступеня очистки забарвлених модельних розчинів від барвників у присутності зважених частинок каоліну від дози коагулянту

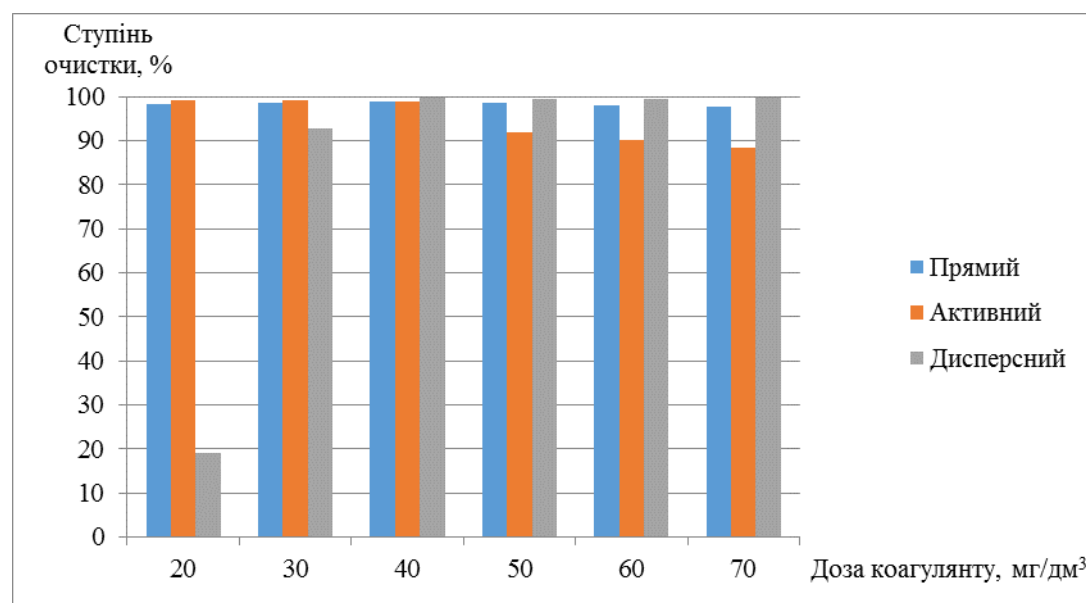


Рисунок 3 – Залежність ступеня очистки забарвлених модельних розчинів від мутності у присутності зважених частинок каоліну від дози коагулянту

Результати експериментального визначення оптимальної дози флокулянтів зображено у вигляді гістограм (рисунки 4, 5). Оптимальна доза флокулянтів становить: для хітозану – 50 мг/дм³ при очищенні розчинів, забарвлених прямим барвником, та 10 мг/дм³ для розчинів, забарвлених активним і дисперсним барвниками. Для альгінату натрію – 50 мг/дм³ при очищенні розчинів, забарвлених прямим барвником, і 10 мг/дм³ для розчинів, забарвлених активним і дисперсним барвниками.

Також встановлено, що при застосуванні хітозану було досягнуто більш високої ефективності очищення забарвлених розчинів, ніж при використанні альгінату натрію. Цей факт можна пояснити тим, що хітозан, завдяки наявності в його структурі великої кількості гідроксидних та амонійних функціональних груп, сприяє утворенню більш міцних і компактних агломератів, а це, в свою чергу, пришвидшує їх осадження.

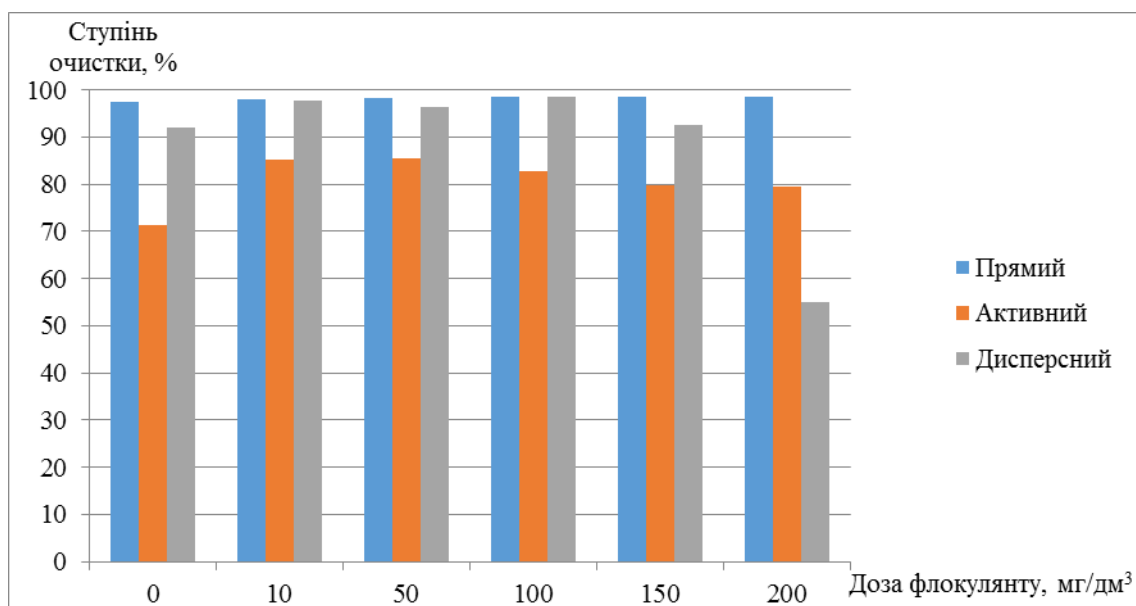


Рисунок 4 – Залежність ступеня очистки забарвлених модельних розчинів від барвників у присутності зважених частинок каоліну від дози флокулянту – хітозану (з визначеною на попередньому етапі досліджень оптимальною дозою коагулянту для кожного барвника)

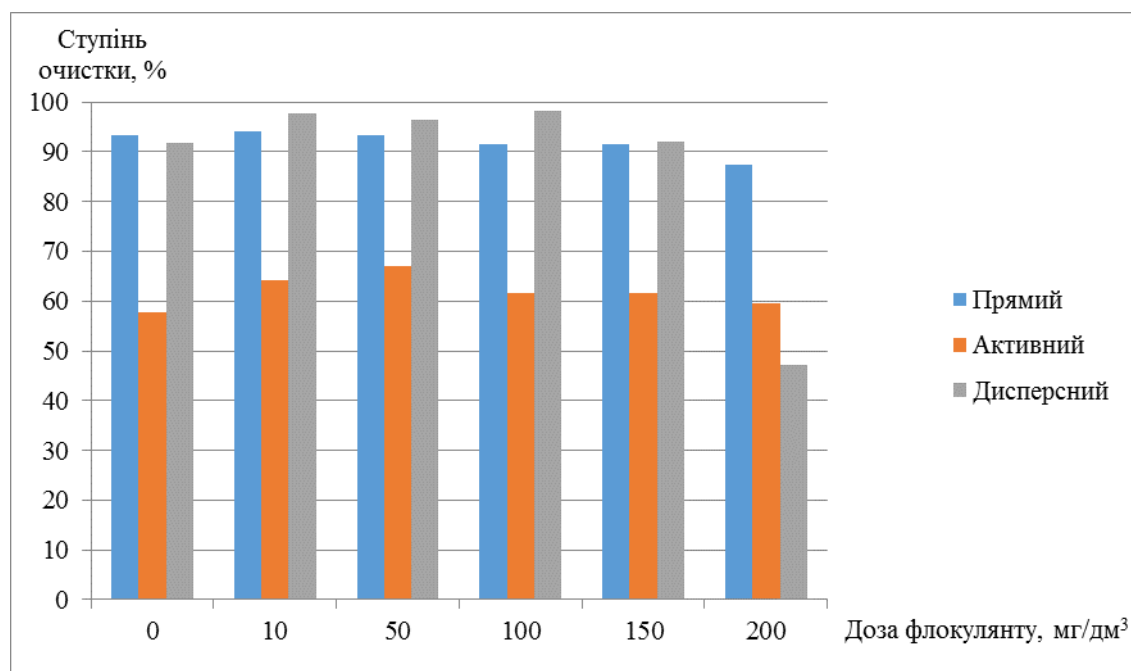


Рисунок 5 – Залежність ступеня очистки забарвлених модельних розчинів від барвників у присутності зважених частинок каоліну від дози флокулянту – альгінату натрію (з визначеною на попередньому етапі досліджень оптимальною дозою коагулянту для кожного барвника)

Під час здійснення коагуляційного процесу проводили контроль за зміною рН розчинів до та після додавання реагентів. Отримані дані, які наведено в таблиці 1, показують, що при додаванні алюмінію сірчано-кислого рН

розчинів змінюється з нейтрального до кислого, але залишається в межах ефективної дії коагулянту (від 4 до 8). Таким чином забезпечується максимальний ступінь використання алюмінійвмісного коагулянту.

Таблиця 1 – Зміна рН забарвлених модельних зразків після додавання коагулянту алюмінію сірчаноокислого технічного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

Доза Al^{3+} \ рН	Прямий чорний	Активний синій	Дисперсний коричневий
Початкова	8,077	7,777	7,850
20	7,37	7,081	7,056
30	7,025	7,071	6,570
40	6,721	7,063	5,979
50	6,371	5,905	5,045
60	5,652	5,064	4,463
70	4,804	4,635	4,356

Висновки. Таким чином, при проведенні цієї експериментальної роботи було проаналізовано процес очищення модельних розчинів, наближених до стічних вод текстильного підприємства, методами коагуляції та флокуляції. В роботі використовували коагулянт на основі алюмінію, а саме: алюміній сірчаноокислий технічний $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, як флокулянти було застосовано природні біополімери: хітозан зі ступенем деацетилювання 82 % та альгінат натрію, а також проведено їх порівняльний аналіз.

На першому етапі дослідження було встановлено оптимальну дозу коагулянту для мутних розчинів, забарвлених прямим чорним – 40 мг/дм³, активним синім – 50 мг/дм³ та дисперсним коричневим – 40 мг/дм³.

На наступному етапі було визначено оптимальні дози флокулянтів (альгінату натрію та хітозану) при їх комплексній дії з оптимальною дозою коагулянту для кожного барвника. Встановлено, що більш ефективного ступеня очищення можна досягти при додаванні до коагулянту флокулянтів, а саме: при очищенні мутних розчинів, забарвлених прямим чорним, оптимальна доза – 10 мг/дм³ для альгінату натрію або 50 мг/дм³ для хітозану, при забарвленні активним синім та дисперсним коричневим – 50 мг/дм³ для альгінату натрію або 10 мг/дм³ для хітозану.

При проведенні порівняльного аналізу дії флокулянтів встановлено, що природний біополімер хітозан є більш ефективним для використання в комплексі з коагулянтом $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, ніж альгінат натрію, а осад, який утворюється, є більш щільним та характеризується більшою агрегатною стійкістю.

Доведено, що додавання флокулянтів до традиційних коагулянтів збільшує ефективність очищення та пришвидшує осадження утворених агломератів. Досліджено, що сту-

пінь очищення мутних вод, забруднених барвниками, на пряму залежить від концентрації коагулянту та флокулянта, ступеня забрудненості води, а також від тривалості осадження, що дає можливість моделювати оптимальні умови для якісного й ефективного очищення забруднених стічних вод, враховуючи їх якісний і кількісний склад.

Список використаних джерел

- [1] Ю. В. Воронов, и С. В. Яковлев, *Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов*. Москва, Россия: Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2006.
- [2] Т. В. Солодовнік, Н. М. Толстопадова, Н. М. Фоміна, та І. К. Якименко, "Дослідження процесів очищення забарвлених розчинів при використанні неорганічних коагулянтів та природного флокулянту", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 108-117, 2019.
- [3] Shahin Homaeigohar, Ahnaf Usman Zillohu, Ramzy Abdelaziz, Mehdi Keshavarz Hedayati, and Mady Elbahri, "A novel nanohybrid nanofibrous adsorbent for water purification from dye pollutants", *Materials (Basel)*, vol. 9, no. 10, pp. 1-16, 2016.
- [4] Т. Obushenko, N. Tolstopalova, O. Kulesha, and I. Astrelin, "Thermodynamic studies bromphenol blue removal from water using solvent sublation", *Chemistry & Chemical Technology*, vol. 10, no. 4, pp. 515-518, 2016.
- [5] M. S. Hossain, F. Omar, Aj Asis, R. T. Bachmann, M. Z. Islam Sarker, and M. O. Ab Kadir, "Effective treatment of palm oil mill effluent using $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ waste from titanium oxide industry: Coagulation adsorption isotherm and

- kinetics studies", *Journal of Cleaner Production*, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.069>.
- [6] І. К. Якименко, та Т. В. Солодовнік, "Дослідження процесу коагуляції та процесу очищення мутних та забарвлених розчинів при використанні різного типу коагулянтів", на VII Міжнар. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології: зб. тез доп. (м. Київ, 11-13 квіт. 2018 р.), с. 169.
- [7] С. С. Душкін, М. В. Дегтяр, С. С. Душкін, та М. В. Дегтяр, "Спосіб очищення води від дисперсних домішок", *патент 112556 UA, МПК: C02F 1/00*, заявл. 23.05.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24, 2016.
- [8] А. В. Іванченко, Д. О. Єлатонцев, та Л. О. Артеменко, "Спосіб глибокої доочистки стічних вод від фосфатів та завислих речовин", *патент 116645 UA, МПК: C02F 1/52, C02F 1/58*, заявл. 26.12.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10, 2017.
- [9] J. Dotto, M. R. Fagundes-Klen, M. T. Veit, S. M. Palácio, and R. Bergamasco, "Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater", *Journal of Cleaner Production*, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>.
- [10] E. GilPavasa, I. Dobrosz-Gómez, and M. Á. Gómez-García, "Optimization of sequential chemical coagulation – electro-oxidation process for the treatment of an industrial textile wastewater", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 22, pp. 73-79, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.01.005>.
- [11] F. W. Pontius, "Chitosan as a drinking water treatment coagulant", *American Journal of Civil Engineering*, vol. 4, iss. 5, pp. 205-215, 2016.
- [12] E. Güneş, E. Demir, Y. Güneş, and A. Hanedar, "Characterization and treatment alternatives of industrial container and drum cleaning wastewater: Comparison of Fenton-like process and combined coagulation/oxidation processes", *Separation and Purification Technology*, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.07.060>.
- [13] Feng Qian, Mengchang He, Jieyun Wu, Huibing Yu, and Liang Duan, "Insight into removal of dissolved organic matter in post pharmaceutical wastewater by coagulation-UV/H₂O₂", *Journal of Environmental Sciences*, vol. 76, pp. 329-338, February 2019, doi: [10.1016/j.jes.2018.05.025](https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.05.025).
- [14] Z.-Q. Liu, L. You, X. Xiong, Q. Wang, Y. Yan, J. Tu, Y.-H. Cui, X.-Y. Li, G. Wen, and X. Wu, "Potential of the integration of coagulation and ozonation as a pretreatment of reverse osmosis concentrate from coal gasification wastewater reclamation", *Chemosphere*, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.187>.
- [15] Т. В. Солодовнік, *Аналітична хімія: практикум: навч. посіб., вид. 2-ге, доп.* Черкаси, Україна: ЧДТУ, 2019.
- [16] T. V. Solodovnik, H. S. Stolyarenko, and A. A. Slis, "Prospects of using complex coagulation systems based on chitosan in water treatment processes", in *V Int. Water Forum "Water Resources and Climate"*, part 2. Minsk, Republic of Belarus, 2017, pp. 87-90.

References

- [1] Yu. V. Voronov, and S. V. Yakovlev, *Water disposal and wastewater treatment*. Moscow, Russia: Izd-vo Assotsiatsii stroit. vuzov, 2006 [in Russian].
- [2] T. V. Solodovnik, N. M. Tolstopalova, N. M. Fomina, and I. K. Yakymenko, "Researching the processes of colored solutions cleaning using inorganic coagulants and natural flocculant", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 3, pp. 108-117, 2019 [in Ukrainian].
- [3] Shahin Homaeigohar, Ahnaf Usman Zillohu, Ramzy Abdelaziz, Mehdi Keshavarz Hedayati, and Mady Elbahri, "A novel nanohybrid nanofibrous adsorbent for water purification from dye pollutants", *Materials (Basel)*, vol. 9, no. 10, pp. 1-16, 2016.
- [4] T. Obushenko, N. Tolstopalova, O. Kulesha, and I. Astrelin, "Thermodynamic studies bromphenol blue removal from water using solvent sublation", *Chemistry & Chemical Technology*, vol. 10, no. 4, pp. 515-518, 2016.
- [5] M. S. Hossain, F. Omar, Aj Asis, R. T. Bachmann, M. Z. Islam Sarker, and M. O. Ab Kadir, "Effective treatment of palm oil mill effluent using FeSO₄·7H₂O waste from titanium oxide industry: Coagulation adsorption isotherm and kinetics studies", *Journal of Cleaner Production*, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.069>.

- [6] I. K. Yakymenko, and T. V. Solodovnik, "Investigation of the coagulation process and the process of purification of turbid and colored solutions using different types of coagulants", in *7th Int. Conf. of students, graduate students and young scientists in chemistry and chemical technology*, (Kyiv, Ukraine, April 2018), p. 169 [in Ukrainian].
- [7] S. S. Dushkin, M. V. Degtyar, S. S. Dushkin, and M. V. Degtyar, "The method of water purification from dispersed impurities", *Ukr. patent 112556, MKP: C02F 1/00*, Appl. 23.05.2016, Publ. 26.12.2016, Bulletin no. 24 [in Ukrainian].
- [8] A. V. Ivanchenko, D. O. Yelatontsev, and L. O. Artemenko, "The method of deep wastewater treatment from phosphates and suspended solids", *Ukr. patent 116645, MKP: C02F 1/52, C02F 1/58*, Appl. 26.12.2016; Publ. 25.05.2017, Bulletin no. 10 [in Ukrainian].
- [9] J. Dotto, M. R. Fagundes-Klen, M. T. Veit, S. M. Palácio, and R. Bergamasco, "Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater", *Journal of Cleaner Production*, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>.
- [10] E. GilPavasa, I. Dobrosz-Gómez, and M. Á. Gómez-García, "Optimization of sequential chemical coagulation – electro-oxidation process for the treatment of an industrial textile wastewater", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 22, pp. 73-79, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.01.005>.
- [11] F. W. Pontius, "Chitosan as a drinking water treatment coagulant", *American Journal of Civil Engineering*, vol. 4, iss. 5, pp. 205-215, 2016.
- [12] E. Güneş, E. Demir, Y. Güneş, and A. Hanedar, "Characterization and treatment alternatives of industrial container and drum cleaning wastewater: Comparison of Fenton-like process and combined coagulation /oxidation processes", *Separation and Purification Technology*, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.07.060>.
- [13] Feng Qian, Mengchang He, Jieyun Wu, Huibing Yu, and Liang Duan, "Insight into removal of dissolved organic matter in post pharmaceutical wastewater by coagulation-UV/H₂O₂", *Journal of Environmental Sciences*, vol. 76, pp. 329-338, February 2019, doi: [10.1016/j.jes.2018.05.025](https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.05.025).
- [14] Z.-Q. Liu, L. You, X. Xiong, Q. Wang, Y. Yan, J. Tu, Y.-H. Cui, X.-Y. Li, G. Wen, and X. Wu, "Potential of the integration of coagulation and ozonation as a pretreatment of reverse osmosis concentrate from coal gasification wastewater reclamation", *Chemosphere*, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.187>.
- [15] T. V. Solodovnik, *Analytical chemistry: manual*, 2nd ed., suppl., Cherkasy, Ukraine: ChDTU, 2019 [in Ukrainian].
- [16] T. V. Solodovnik, H. S. Stolyarenko, and A. A. Slis, "Prospects of using complex coagulation systems based on chitosan in water treatment processes", in *V Int. Water Forum "Water Resources and Climate"*, part 2. Minsk, Republic of Belarus, 2017, pp. 87-90.

T. V. Solodovnik, Ph.D., assistant professor,
e-mail: solodovniktetana@gmail.com

I. K. Yakymenko, postgraduate student
e-mail: yakimenko97@ukr.net
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

RESEARCH AND IMPROVEMENT OF FLOCCULATION-COAGULATION PROCESSES OF PURIFICATION OF COLORED INDUSTRIAL WASTES

Contaminated wastewater from industrial enterprises significantly reduces drinking water volumes. Together with untreated wastewater from textile, chemical or metalworking enterprises, toxic substances, harmful to the health of fish, animals and humans, enter the reservoirs. Dyes used in dyeing processes are typical contaminants of wastewater in textile industry. The wide range of composition and insufficient treatment of these waters has a negative impact on the condition of water bodies,

and that is why it is necessary to carefully justify the choice of the optimal method of purification. The coagulation process, which occurs due to adhesive properties of coagulants and flocculants, is widely used in technologies for treatment of both natural and industrial wastewaters from colloidal particles, radionuclides, phosphates, dyes and suspended solids. Today, one of the promising areas of research of coagulation and flocculation processes consists in the use of natural and environmentally friendly reagents with high adsorption and adhesion properties.

While carrying out this experimental work, the staff of the Department of Chemical Technology and Water Treatment has conducted studies of the impact of model solutions containing different types of dyes and in the presence of suspended particles on purification processes, the use of natural flocculants, together with a typical coagulant, on the degree of purification and the speed of agglomerates precipitation. The advantages and disadvantages of different types of natural flocculants have been established on the example of chitosan and sodium alginate, when combined with a traditional coagulant – aluminum sulfate. When conducting research on the selection of the most effective reagents in the process of purification of specific wastewater, as well as determining their optimal doses, the Jar test method has been used. The essence of this technique is that in laboratory conditions the simulation of the process of flake formation, which is typical for industrial plants of wastewater purification, is carried out. The study on the composition of turbid and colored model samples of water has been carried out using modern methods of analysis: spectrophotometry, and nephelometry.

Keywords: wastewater, purification, coagulation, color, turbidity, coagulants, flocculants.