



Міжнародна
науково-практична конференція

Проблеми
надзвичайних
ситуацій

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Харків
19 травня 2022 року

**ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ УТВОРЕННЯ КОАГУЛЯНТІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ
ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ МОЛОЧНИХ СТІЧНИХ ВОД***Макаров Є.О.¹,**Андронов В.А.¹, д. т. н., професор,**Данченко Ю.М.², д. т. н., професор*¹*Національний університет цивільного захисту України,*²*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

Ефективність електрохімічного утворення та хімічна природа коагулянтів (гідроксидів металів, комплексних іонів) для електрокоагуляційного очищення стічних вод молокозаводів безпосередньо залежить від умов проведення процесу. Насамперед, від показника рН стічних вод, наявності і кількості забруднювачів, сили або щільності електричного струму, тривалості проведення експерименту [1–9]. Механізм утворення коагулянтів в середовищах з різним показником рН, є не до кінця вивченим, особливо, електрохімічного утворення коагулянтів на основі алюмінію. Тому дослідження хіміко-технологічних параметрів електрохімічного одержання коагулянтів на основі алюмінію для електрокоагуляційного очищення стічних вод молокопереробних підприємств є важливою науково-практичною задачею.

Для дослідження використовувались стічні води молокопереробного підприємства Сумської області [10–12]. Для проведення досліджень протягом двох робочих змін відбирались проби стічних вод з ділянки приймання молока, лабораторії, цеху сиру, апаратного відділення, цеху масла, цеху плавлених сирів та відділення реалізації. З урахуванням внеску у загальний стік кожної ділянки підприємства формувалась загальний стік з усередненим складом стічних вод. Електрокоагуляційна обробка стічних вод проводилась на лабораторній установці, яка включає електролізер з органічного скла розмірами 18 см×15 см×4 см. Об'єм стічної води, що оброблялась, складав близько 1 дм³. Площа алюмінієвих електродів складала близько 250 см². В якості лужної добавки використовувався натрій гідроксид NaOH у вигляді 5 % водного розчину. Ефективність обробки досліджувалась за наступними показниками стічної води: хімічне споживання кисню (ХСК), водневий показник рН, прозорість, кількість етеророзчинних речовин (ЕРР), вміст ортофосфат-іонів PO₄³⁻ та іонів амонійного нітрогену NH₄⁺. Електрокоагуляція проводилась протягом 10 хвилин при щільності електричного струму 50 А/м². Перед обробкою до стічної води додавалась лужна добавка, що дозволило варіювати показник рН від 4,0 до 8,7. Отримані результати представлені в табл. 1.

Як видно з представлених результатів, після електрокоагуляції стічної води без додавання лужної добавки ступінь очистки за ХСК та ЕРР дорівнює 90 та 98,3 % відповідно. Додавання перед обробкою лужної добавки до значень рН вихідної води 4,9–5,8 не впливає на ступінь очистки за ХСК і в незначній мірі збільшує (приблизно на 1 %) ступінь очистки за ЕРР. При цьому рН води після електрокоагуляції зростає. Отже, можна стверджувати, що при проведенні електрокоагуляції в кислому та слабо кислому (рН ≈ 4,0–5,8) середовищі у воді відбуваються електрохімічні процеси, в яких переважає процес окислення води на катоді з утворенням ОН-іонів, що призводить до незначного зростання рН середовища наприкінці електрокоагуляції. Очевидно, що в таких умовах утворення алюмінієвих комплексів не відбувається, що неодмінно призвело б до зменшення рН. Тому можна зробити висновок, що при електрокоагуляції кислих та слабо кислих стічних вод (4 < рН < 6) головним чином утворюються частинки молекулярної будови Al(OH)₃, які здійснюють основну коагулюючу дію та забезпе-

чують певний ступінь очистки. При цьому більшою мірою реалізується адсорбційний механізм видалення забруднювачів.

Табл. 1. Вплив показника рН на закономірності утворення коагулянтів та ефективність очистки стічних вод

рН		ХСК, мгО/дм ³	Кількість ЕРР, мг/дм ³	Ступінь очистки, %	
до електрокоагуляції	після електрокоагуляції			за ХСК	за ЕРР
4,0	–	12000	1260	–	–
4,0	5,0	1200	22	90,0	98,3
4,9	5,6	1200	9	90,0	99,3
5,8	6,2	1200	7	90,0	99,4
6,7	7,2	1100	7	90,9	99,4
7,6	7,2	1100	5	90,9	99,6
8.7	7,2	1080	2	91,0	99,9

Якщо перед електрокоагуляцією додавати лужну добавку до утворення нейтрального та слабо лужного середовища, то після обробки спостерігається наступне. Ступінь очистки стічних вод дещо підвищується, як за ХСК (на 1%), так і за ЕРР (на 1,6%). При цьому показник рН води після обробки залишається нейтральним і не залежить від кількості доданої лужної добавки. Очевидно, що це пов'язано з додатковим підкисленням розчину внаслідок гідролізу мономерних $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$, $[\text{Al}(\text{OH})_2]^{+}$ та полімерних $[\text{Al}_2(\text{OH})_2]^{4+}$, $[\text{Al}_2(\text{OH})_5]^{+}$, $[\text{Al}_6(\text{OH})_{15}]^{3+}$, $[\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}]^{5+}$ алюмінієвих комплексів, що утворюються в надлишку ОН-іонів. При проведенні електрокоагуляції в нейтральному та слабо лужному середовищі у воді відбуваються електрохімічні процеси, в яких утворення коагулянту у вигляді $\text{Al}(\text{OH})_3$ вочевидь практично не відбувається. Отже, при електрокоагуляції нейтральних та слабо лужних стічних вод ($9 > \text{pH} > 6$) в якості коагулюючих речовин виступають мономерні та полімерні алюмінієві комплекси, які є зарядженими частинками. Це і забезпечує більш високий ступінь очистки стічних вод. При цьому реалізується змішаний механізм видалення забруднювачів: наряду з адсорбційним можливий електростатичний механізм коагулюючої дії.

Результати експериментів дозволили припустити, що додавання лужної добавки може бути більш ефективним після процесу електрокоагуляції стічних вод. Для перевірки цієї гіпотези були проведені дослідження по електрокоагуляції стічних вод з різним терміном проведення процесу – 3, 5, 7 та 10 хвилин. Додавання лужної добавки до показника рН = 7,5 та рН = 9,0 здійснювалось після процесу електрокоагуляції. Оброблена вода з доданою лужною добавкою перемішувалась. Після фільтрування у фільтраті визначались прозорість, ХСК, ЕРР, кількість фосфат-іонів та кількість іонів амонійного нітрогену. Отримані результати представлені в табл. 2.

Виходячи з результатів експерименту можна зробити наступні висновки. Закономірності впливу рН та терміну електрокоагуляції на хімічний склад стічної води можна розділити на два періоди. Перший період обмежений терміном електрокоагуляції від 3 до 5 хвилин. Під час цього періоду ступінь очистки стічної води від будь-яких забруднювачів не залежить від рН. Другий період обмежується терміном електрокоагуляції від 5 до 10 хвилин. В цей період значення рН впливає на ступінь очистки: з підвищенням рН зростає ступінь очистки стічної води від забруднювачів. Отже, як видно з представлених даних, додавання лужної добавки після електрокоагуляції є більш ефективним та дозволить скоротити термін процесу обробки. При цьому ступінь очистки стічної води залишиться достатньо високим (98-99%). Це забезпечить економію електроенергії та позитивно вплине на еколого-економічну оцінку техно-

логії. Також з отриманих результатів можна зробити висновок, що значення показника рН суттєво не впливає на закономірності утворення коагулянтів, механізм коагулюючої дії та ступінь очистки стічних вод.

Табл. 2. Вплив рН та терміну електрокоагуляції на ступінь очистки стічної води

Час електрокоагуляції, хвилин	рН	Ступінь очистки, %				
		за прозорістю	за ХСК	за ЕРР	за вмістом ортофосфат-іонів	за вмістом іонів амонію
3	7,5	83,2	73,1	97,5	97,2	14,3
5	7,5	94,4	77,1	98,3	98,4	17,5
7	7,5	94,9	78,0	98,6	98,6	37,7
10	7,5	95,2	78,6	98,8	99,0	35,0
5	9,0	94,5	77,1	98,3	98,4	17,5
7	9,0	95,1	78,6	98,6	98,6	39,0
10	9,0	95,2	78,8	98,8	99,1	39,0

Отже, були проведені дослідження хіміко-технологічних параметрів електрохімічного одержання коагулянтів на основі алюмінію для електрокоагуляційного очищення стічних вод молокопереробних підприємств. Встановлено, що ефективність електрохімічного утворення та хімічна природа коагулянтів (гідроксидів металів, комплексних іонів) для електрокоагуляційного очищення стічних вод молокозаводів безпосередньо залежить від умов проведення процесу: показника рН стічних вод, наявності різних забруднювачів, сили або щільності електричного струму, тривалості проведення електрокоагуляції. Вплив рН та термінів проведення процесу електрокоагуляції вивчено у двох випадках реалізації технологічного процесу: при додаванні лужної добавки до і після електрокоагуляційної обробки. У випадку реалізації першого випадку можна зробити наступні висновки. При електрокоагуляції кислих та слабо кислих стічних вод ($4 < \text{pH} < 6$) головним чином утворюються частинки молекулярної будови $\text{Al}(\text{OH})_3$, які здійснюють основну коагулюючу дію та забезпечують достатньо високий ступінь очистки. При цьому більшою мірою реалізується адсорбційний механізм видалення забруднювачів. При електрокоагуляції нейтральних та слабо лужних стічних вод ($9 > \text{pH} > 6$) в якості коагулюючих речовин виступають мономерні та полімерні алюмінієві комплекси, які є зарядженими частинками. Це забезпечує більш високий ступінь очистки стічних вод. При цьому реалізується змішаний механізм видалення забруднювачів: наряду з адсорбційним можливий електростатичний. Встановлено, що додавання лужної добавки після електрокоагуляції є більш ефективним та дозволить скоротити терміни процесу обробки. При цьому ступінь очистки стічної води залишається достатньо високим (98–99%). Це забезпечить економію електроенергії та позитивно вплине на еколого-економічну оцінку технології. При цьому встановлено, що значення показника рН суттєво не впливає на закономірності утворення коагулянтів, механізм коагулюючої дії та ступінь очистки стічних вод.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gerson de Freitas Silva Valente, Regina Celia Santos Mendonca, Jose Antonio Marques Pereira. The efficiency of electrocoagulation using aluminum electrodes in treating wastewater from a dairy industry. *Ciencia Rural. Santa Maria*. 2015. 45(9). P. 1713–1719.
2. Chezeau B., Boudriche L., Vial C. and Boudjemaa A. Treatment of dairy wastewater by electrocoagulation process: Advantages of combined iron/aluminum electrodes (published online 15.07.2019), *Separation Science and Technology*. 2019.
3. Shariff Ibrahim, Nur Syuhaidah Mohd Aris, Borhannuddin Ariffin, Yahaya Hawari and Megat Ahmad Kamal Megat Hanafiah. Application of electrocoagulation process for decolourisation of palm oil mill effluent (POME). *Nature Environment and Pollution Technology*. 2018. 17(4). P. 1267–1271.
4. Izadi A., Hosseini M., Darzi G.N., Bidhendi G.N., Shariati F.P. Treatment of paper-recycling wastewater by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2018. 16. P. 257–264.
5. Aoudj S., Khelifa A., Drouiche N., Hecini M., Hamitouche H. Electrocoagulation process applied of wastewater containing dyes from textile industry. *Chem. Eng. Process Intensif.* 2010. 49(11). P. 1176–1182.
6. Bayramoglu M., Kobyas M., Can O.T., Sozbir M. Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Separation and Purification Technol.* 2004. 37(2). P. 117–125.
7. Holt P.K., Barton G.W., Wark M., Mitchell C.A. A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. *Colloids and Surfaces A. Physicochemical and Eng. Asp.* 2002. 211(2–3). P. 233–248.
8. Vladimir Andronov, Yevhen Makarov, Yuliya Danchenko, Tatyana Obizhenko. Colloid-chemical regularities of reagent wastewater treatment of dairies. *Materials Science Forum*. 1038 (2021). P. 235–241.
9. Андронов В.А., Данченко Ю.М., Макаров Є.О. Обґрунтування використання електродхімічних методів для попередньої очистки стічних вод молокопереробних підприємств. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: збірник наукових статей XV Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків: УКРНДІЕП. ПП «Стиль-Іздат», 2019. С. 9–13.
10. V.A. Andronov, Yu.M. Danchenko, Ye.O. Makarov, T.M. Obizhenko. Research of the regularities of forming and chemical composition of sewage water of a dairy processing company. *Technogenic and ecological safety*. 7 (1/2020). P. 13–21.
11. Макаров Є.О. Екологічна безпека висококонцентрованих стічних вод молокопереробних підприємств. *Сталий розвиток – стан та перспективи: Матеріали II Міжнародного симпозіуму SDEV'2020*. Львів, 2020. С. 235–236.
12. Андронов В.А., Макаров Є.О., Данченко Ю.М., Обіженко Т.М. Колоїдно-хімічні аспекти реагентної очистки стічних вод молокозаводів. *Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2021. С. 236–237.