

УДК 628.543:628.16.08

Л.В. Филипчук

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІНИ ВЕЛИЧИНИ рН СТИЧНОЇ ВОДИ В ПЕРЕГОРОДЧАСТОМУ ЗМІШУВАЧІ-РЕАКТОРІ ЯК ОБ'ЄКТИ РЕГУЛЮВАННЯ

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, leonmail@ukr.net

Наведені результати експериментального та математичного дослідження процесу регулювання величини активної реакції металовмісної багатокomпонентної стічної води в гідравлічному змішувачі-реакторі перегородчастого типу.

Ключові слова: змішувач-реактор, регулювання рН, система автоматичного регулювання, багатокomпонентні стічні води, важкі метали.

Вступ

Для реагентного очищення металовмісних стічних вод від важких металів широко використовуються реакції нейтралізації, осадження металів та окислення-відновлення домішок. Інтенсивність і напрям протікання цих реакцій суттєво залежить від таких параметрів водного середовища, як активна реакція (рН) та окисно-відновний потенціал (Eh) [1]. Регулювання цих параметрів здійснюється додаванням відповідних реагентів у змішувачі-реактори, в яких протікає стічна вода. При виборі типу об'єкту регулювання, якими є змішувачі-реактори в системах автоматичного регулювання рН та Eh, та математичному моделюванні процесів зміни рН та Eh, що супроводжуються хімічними перетвореннями, важливе значення має знання механізму і кінетики змішування реагентів з водою та проходження хімічних реакцій.

Аналіз досліджень та публікації

Відомо, що при додаванні до стічної води реагентів для ефективного протікання хімічних процесів осадження важких металів у вигляді малорозчинних сполук необхідною умовою очищення стоків є забезпечення достатньої ефективності їх змішування з декількома реагентами [2]. Для цього використовуються змішувачі-реактори різних типів в залежності від категорії стічних вод, виду реагентів, їх кількості тощо. На даний час для очищення промислових стічних вод від важких металів найбільшого поширення набули проточні гідравлічні змішувачі-реактори перегородчастого типу, в які можливе додавання декількох реагентів, що забезпечує осадження важких металів із різними властивостями [3].

Необхідною умовою ефективного осадження важких металів є забезпечення необхідної точності у регулюванні, в першу чергу, величини рН у вузьких межах значень цього параметру. Зокрема при наявності у стічній воді суміші важких металів потрібний ступінь осадження досягається при величині рН у межах 9,8-10,2. Це пояснюється тим, що низькі значення рН не дозволяють досягти повного осадження важких металів, а надмірне підвищення рН вище зазначених меж приводить до повторного розчинення утворених малорозчинних сполук важких металів у зв'язку з їх амфотерністю. Окрім цього на ефективність осадження значний вплив має багатокomпонентність стоків, яка обумовлюється наявністю різних органічних та мінеральних компонентів, буферністю водної системи, значними коливаннями складових компонентів стічних вод [4].

Для забезпечення необхідної точності у регулюванні величини рН стоків використовуються системи автоматичного регулювання (САР) різних типів. При умовах багатокomпонентності стоків вимоги до САР досить високі: вона має якнайшвидше реагувати на стрибкоподібні зміни параметрів стічної води на вході, працювати з випередженням тощо. Основною ланкою такої САР є змішувач-реактор, який виступає в ролі об'єкта регулювання [5].

Постановка завдання

Метою даної роботи є теоретичне та експериментальне дослідження процесу зміни величини рН металовмісної стічної води, що протікає в перегородчастому змішувачі-реакторі при додаванні лужного реагенту (ідкого натрію), який є найбільш поширеним при очищенні стоків від важких металів.

Методика проведення досліджень

Дослідження гідравлічного змішувача-реактора перегородчастого типу проводилось у два

етапи. Спочатку були проведені експериментальні дослідження у промислових умовах, а потім – комп'ютерне моделювання процесів змішування та осадження важких металів у змішувачі-реакторі.

Експериментальні дослідження проводились на установці для очищення стічних вод гальванічного виробництва на ТзОВ «Мелітопільський завод підшипників ковзання». Для отримання кривих перехідного процесу (кривих розгону) змішувача-реактора, як об'єкту регулювання, збурення вносились однократним додаванням порції реагенту (ідкого натрію) у стічну воду. Інші параметри при знятті кривих розгону залишались сталими, такі як температура, концентрація домішок та концентрація реагенту. Збурення вносились як у бік збільшення так і у бік зменшення подачі кількості реагенту. Зразу після цього вимірювались значення рН води. Схема апарату та точки введення реагенту і відбору проб стічної води для вимірювання величини рН наведені на рис. 1.

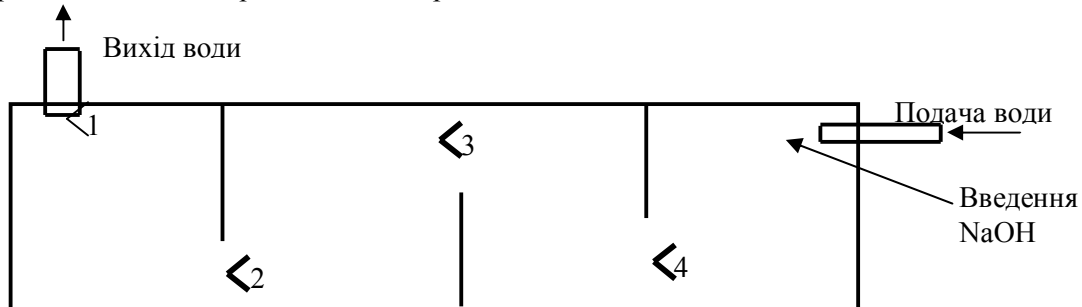


Рис. 1. Схема гідралічного реактора-змішувача перегородчастого типу на очисних спорудах ТзОВ «Мелітопільський завод підшипників ковзання»: 1, 2, 3, 4 – місця відбору проб.

Гідралічний змішувач-реактор перегородчастого типу являє собою відкритий паралелепіпед зі сторонами 125 см та 30 см, та висотою 34 см. В середині розміщені 3 перегородки на відстані 23 см одна від одної (рис. 1). Для фіксації величини рН використовувався портативний рН-метр GRYF 208L, рН-електрод якого розміщувався в різних точках реактора-змішувача. Вихідна стічна вода з рН=3,9 витратою 5 м³/год подавалась з одного боку, а відводиться із протилежного боку реактора-змішувача. Для регулювання величини рН використовувався 5,7 %-й розчин NaOH. Дозування реагенту проводилось залпово в точку подачі стічної води, після чого замірялось значення рН стічної води у встановлених точках на протязі часу до встановлення вихідного значення рН (t , сек).

Основний матеріал досліджень

Результати досліджень показані на рис. 2.

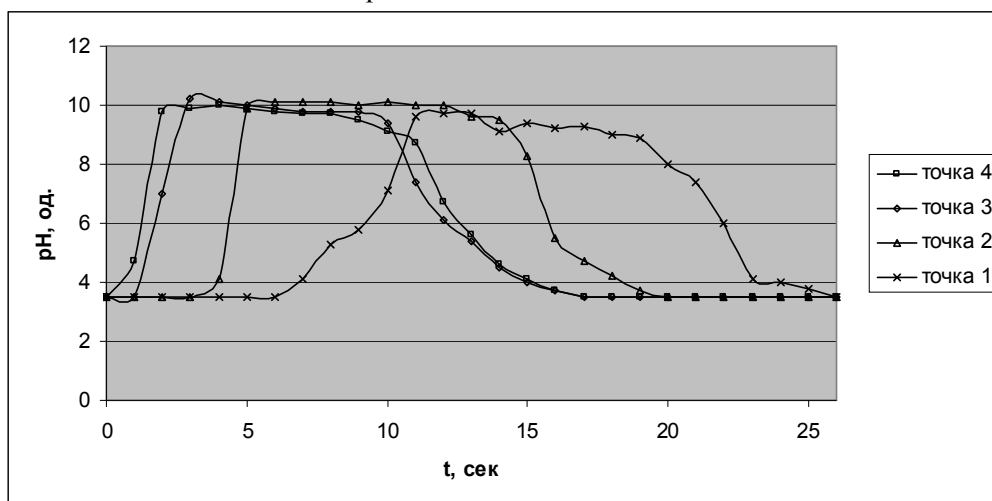


Рис. 2 Результати експериментальних досліджень зміни величини рН металовмісної стічної води в змішувачі-реакторі на ТОВ «Мелітопільський завод підшипників ковзання».

Як видно з графіків, перехідні характеристики зміни рН мають схожу форму та відрізняються початковим запізненням залежно від точки вимірювання. Чим далі від точки

вводу реагенту, тим більшим, а також величиною максимального значення рН. Чим ближче до точки вимірювання тим більшим, оскільки при проходженні по довжині змішувача-реактора реагент інтенсивніше змішується та реагує із домішками стічної води. Окрім того, перехідні характеристики відрізняються загальним часом виходу на усталене значення рН залежно від точки вимірювання. Чим далі від точки вводу реагенту, тим більше залежать від часу змішування реагенту з водою та проходження реакційної суміші по довжині змішувача-реактора.

Отже, ефективність регулювання величини рН з метою доведення його до необхідного конкретного значення чи проміжку значень незалежно від точок вимірювання залежить від кількості доданого реагенту, яка в кожен момент часу змінюється в залежності від рН вхідної води. Тому дозування постійної в часі кількості реагенту не призводить до ефективного процесу встановлення рН. Виходом з даної ситуації є зміна кількості доданого реагенту в залежності від рН стічної води за допомогою системи автоматичного регулювання, яка повинна враховувати величину та швидкість зміни параметрів стоків, їх буферність та багатоконпонентність.

Для підтвердження правильності та адекватності результатів експериментальних досліджень було проведено комп'ютерне моделювання. Складність фізико-хімічних процесів, що відбуваються в реакторах-змішувачах як об'єктах систем автоматичного регулювання рН і Ен вимагає використання сучасних пакетів прикладних програм. Однією із таких програм для комп'ютерного моделювання фізико-хімічних процесів та явищ, вважається програма FEMLAB з модулем Chemical Engineering компанії COMSOL, яка призначена для вирішення широкого кола задач, сформульованих системами рівнянь в частинних похідних методом скінчених елементів. При проведенні комп'ютерного моделювання були використані ті початкові параметри, які були прийняті під час експериментальних досліджень. Зокрема, такі як геометричні розміри змішувача реактора, параметри вхідної стічної води та розчину реагенту.

При турбулентному режимі течії, що має місце гідравлічних змішувачах-реакторах, в'язкість рідини залежить не лише від її фізико-хімічних параметрів, але й локальних характеристик потоку. Згідно гіпотези Бусинеска величина турбулентної в'язкості залежить від кінетичної енергії турбулентності та швидкості дисипації енергії [6]:

$$\eta_T = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon},$$

де η_T - турбулентна в'язкість, C_μ - емпірична стала, k - кінетична енергія турбулентності, ε - швидкість дисипації енергії.

Найбільш поширеними є двопараметричні моделі турбулентності в яких разом з рівнянням Нав'є-Стокса використовуються співвідношення для швидкостей поширення кінетичної енергії та дисипації енергії турбулентності. Система рівнянь для опису руху рідини в гідродинамічному дроселі при турбулентному режимі складається із чотирьох відомих рівнянь:

1. Ізотермічного руху незтискуваної рідини при турбулентному режимі:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} = \left(\eta + C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \right) \nabla^2 \mathbf{U} - \rho (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} - \nabla P$$

2. Неперервності потоку:

$$\nabla \mathbf{U} = 0$$

3. Швидкості поширення турбулентної кінетичної енергії:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} = \nabla \cdot \left[\left(\eta + \rho \frac{C_\mu k^2}{\sigma_k \varepsilon} \right) \nabla k \right] + \rho \left[C_\mu \frac{k^2}{2\varepsilon} (\nabla \mathbf{U})^2 - \varepsilon - \mathbf{U} \nabla k \right].$$

4. Швидкості дисипації турбулентної енергії:

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \nabla \cdot \left[\left(\eta + \rho \frac{C_\mu k^2}{\sigma_\varepsilon \varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \rho \left[C_{\varepsilon 1} \frac{k}{2} (\nabla \mathbf{U})^2 - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} - \mathbf{U} \nabla \varepsilon \right].$$

де: \mathbf{U} - швидкість потоку, $C_\mu = 0,09$, $C_{\varepsilon 1} = 1,44$, $C_{\varepsilon 2} = 1,92$, $\sigma_k = 0,9$, $\sigma_\varepsilon = 1,3$ - константи моделі (емпіричні сталі); ρ - густина рідини; η - динамічна в'язкість рідини.

Сукупність рівнянь описує потік рідини в турбулентних потоках, на які не впливають в'язкі граничні ефекти біля поверхонь, тобто вони можуть бути використаними для областей течії, які лежать поза межами в'язкого підшару і перехідної області.

При проведенні комп'ютерного моделювання було виведено графіки залежності зміни величини рН в часі в різних точках змішувача-реактора (рис. 3).

Результати моделювання показують, що зміна величини рН залежить від кількості доданого реагенту, а також від ступеня змішування його зі стічною водою.

Співставлення результатів моделювання та експериментальних досліджень показує, що складена математична модель відповідає експериментальним залежностям. Різниця між теоретичними та експериментальними даними не перевищує 6-14%, що підтверджує адекватність розробленої моделі. Розроблену модель можна використовувати для визначення геометричних розмірів перегородчастого змішувача-реактора, параметрів технологічного процесу для найбільш ефективного регулювання величини рН металовмісної стічної води під час її очищення від іонів важких металів, а також проведення моделювання перегородчастих змішувачів-реакторів з відомими початковими умовами (витрата стічної води, концентрація та місце введення реагенту тощо) для визначення динаміки зміни величини рН з мінімальним використанням експериментальних досліджень.

Висновки

Результати проведеної роботи можуть використовуватись для розроблення систем автоматичного регулювання, а саме ідентифікації змішувачів-реакторів як об'єктів керування, виведення їх передаточних функцій та коефіцієнтів. Подальшим етапом досліджень є вивчення динаміки зміни величини рН концентрованих металовмісних вод в змішувачах-реакторах механічного типу.

Список літературних джерел

1. Филипчук В.Л. Очищення багатокомпонентних металовмісуючих стічних вод промислових підприємств: Монографія. – Рівне: УДУВГП, 2004. - 232 с.
2. Висоцький С.П. Глибока очистка багатокомпонентних метало містких стічних вод із корегуванням мінерального складу/ Висоцький С.П., Филипчук В.Л., Филипчук Л.В. - Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. Вип.. №2(9) / АДІ ДонНТУ. - Горлівка, 2009. С.240-247.
3. Филипчук В.Л., Филипчук Л.В. Змішувач-реактор - Патент України на КМ № 44246, Бюл.№18, 2009.
4. Филипчук Л.В. Регулювання параметрів рН та Eh при фізико-хімічній очистці стічних вод від важких металів/ Филипчук Л.В. - Вісник НУВГП.-Рівне: НУВГП.-2009.-Вип.№3(47). - с.326-333.
5. Клепач М.І. Автоматизація процесу регулювання рН та Eh при очистці стічних вод від важких металів/ Клепач М.І., Филипчук Л.В. - Матеріали міжнар. наук.-техн. конфер. "Сучасні методи, інформаційне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними комплексами", - Київ: НУХТ. – 26 - 27 листопада 2009. - с.109
6. Лапин Ю. В. Статистическая теория турбулентности / Научно-технические ведомости, 2, 2004, 34 с.

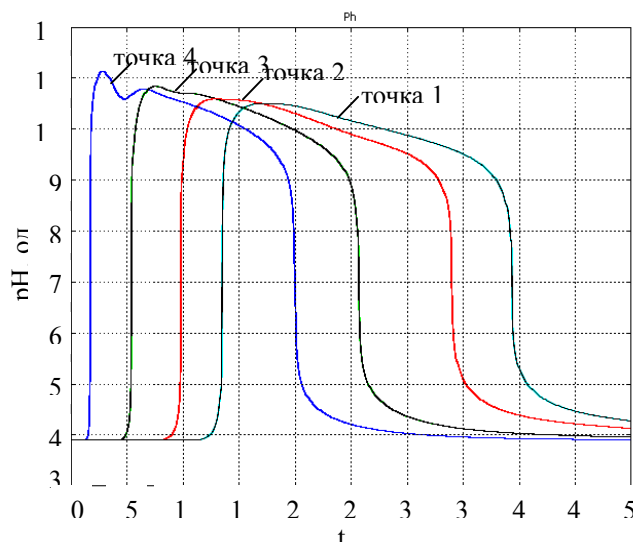


Рис. 3. Графіки залежності зміни величини рН в часі в різних точках змішувача-реактора.