

УДК 628.16.08.001.57.001.26

Л.В. Филипчук

*Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне***АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ рН ТА Eh ПРИ ОЧИЩЕННІ ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД**

Наведено результати дослідження процесів автоматичного комплексного регулювання параметрів рН та Eh багатокомпонентних стічних вод в механічних змішувачах-реакторах. Проведене комп'ютерне моделювання змішувача-реактора, що використовується для зміни рН та Eh стоків, як об'єкту управління. Запропонована технологічна схема окислення ціанідів із системою автоматичного регулювання Eh та рН.

Ключові слова: *стічні води, комплексне регулювання рН та Eh, комп'ютерне моделювання.*

Постановка проблеми

Підвищення ефективності реагентного очищення багатокомпонентних промислових стічних вод потребує удосконалення систем автоматизованого управління вузлами реагентної обробки стоків. Складність автоматизації цих об'єктів зв'язана з значною різноманітністю домішок у стоках, кількість і склад яких може змінюватися з часом чи внаслідок появи нових виробництв і технологій. Розробка сучасних систем автоматизованого управління потребує вдосконалення існуючих способів та алгоритмів функціонування систем автоматичного регулювання параметрів, побудови адекватних математичних моделей контурів регулювання та проведення комп'ютерного моделювання як засобу оптимізації параметрів системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основними способами впливу на процеси очищення багатокомпонентних стічних вод є регулювання активної реакції (рН) та окисно-відновного потенціалу (Eh) шляхом дозування різних реагентів: кислот, лугів, окисників чи відновників [1]. Зокрема, луги використовуються для осадження важких металів, окисники – для руйнування ціанідів та органічних домішок, відновники – для знешкодження такого токсичного елементу, як шестивалентний хром. Існуючі способи окислення та відновлення забруднюючих домішок мають суттєві недоліки. Так, при дозуванні реагентів відбувається зміна Eh водного середовища під дією окисників або відновників, однак введення цих реагентів призводить до зміни рН середовища і, навпаки, коригування величини рН викликає зміну величини Eh. Це негативно впливає на протікання окисно-відновного процесу і потребує додаткового уведення лугу або кислоти для підтримки оптимальних значень рН та Eh [2, 3].

Для автоматизації дозування реагентів у стічні води на даний час застосовуються алгоритми на базі

розповсюджених типів регуляторів. Пропорційні (П) регулятори для управління процесом нейтралізації та осадження в проточних реакторах використовуються вкрай рідко, оскільки при глибоких коливаннях концентраційного навантаження, властивих майже всім об'єктам нейтралізації, виникає неприпустима статистична помилка. На реакторах періодичної дії застосування П-регуляторів себе цілком виправдовує у випадку, якщо потрібне одноразова зміна рН або Eh. При цьому настройка регулятора повинна бути з нульовим зсувом щоб забезпечувати повне закриття регулюючого органу при досягненні заданого значення рН. Однак при комплексній зміні величин рН або Eh внаслідок зміни цих параметрів в процесі реакції застосування П-регуляторів стає величезно проблематичним [4].

Для прискорення процесу регулювання використовують пропорційно-диференціальний (ПД) регулятор. Однак в цих умовах досить часто спостерігається перерегулювання, внаслідок того, що дозуючий пристрій в даний момент часу подає сталу кількість реагенту, а змішувач-реактор має великий об'єм і значне запізнення у визначенні стабільного значення рН або Eh [5].

Для регулювання процесу нейтралізації в проточних реакторах широко застосовують пропорційно-інтегральні (ПІ) регулятори. Проте їх можливості обмежені діапазоном зміни навантаження, а також динамікою збурень і реактора.

При поганому усереднюванні і використуванні змішувача-реактора з несприятливою динамічною характеристикою рекомендується системи автоматичного регулювання (САР) з алгоритмом управління на базі пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора. Однак в умовах періодичного скиду стічних вод на сучасних очисних станціях та багатокомпонентності складу металомісних вод навіть одноконтурна САР з ПІД-регулятором не може забезпечити задану якість стабілізації рН. Крім того у більшості випадків ситуація

усугубляється відсутністю або малим об'ємом усе-реднювача стічних вод. Тому в таких умовах використовують комбіновані САР процесу дозування реагентів. В більшості з них використовуються допоміжні сигнали по основних збуреннях: рН і витраті стічної води. Необхідність регулювання по збуренню виникає тоді, коли коливання навантаження по рН перевищують дві-три одиниці, а витрата стічної води змінюється більш ніж удвічі [6].

Деякі водоочисні установки працюють в ще більш складніших умовах: склад стічних вод довільно змінюється, в них присутні сильні і слабкі кислоти або луги і солі в змінних концентраціях, що є характерним для сучасних багатоконпонентних металовмісних стічних вод. Це приводить до нестаціонарності коефіцієнта підсилення процесу регулювання рН унаслідок появи буферних властивостей. Коливання витрати стічних вод і концентрації нейтралізуючого реагенту також є параметричними збуреннями, що змінюють коефіцієнт підсилення процесу. Якщо сумарна дія всіх параметричних збурень приводить до більш ніж п'ятикратної зміни коефіцієнта посилення, система регулювання повинна бути забезпечений пристроєм автоматичного переналаштування коефіцієнта підсилення регулятора [7, 8]. Для усунення даних недоліків необхідна багатоконтурна САР з можливістю підстроювання коефіцієнтів підсилення та інших змінних.

Мета статті

Метою роботи є розробка системи автоматичного регулювання параметрів рН та Eh промислових стічних вод при їх очищенні від токсичних домішок в умовах багатоконпонентності стоків та значних коливань концентрацій домішок у вихідній воді.

Виклад основного матеріалу

Вирішення поставленої задачі полягає в застосуванні системи автоматичного регулювання на базі сучасних апаратних та програмних засобів керування із використанням алгоритму ступінчастого введення хімічних реагентів для зміни рН та Eh стічних вод [7, 8]. Це дозволить підтримувати оптимальні значення цих параметрів на протязі всього періоду протікання хімічного процесу окислення-відновлення домішок і тим самим досягати необхідної швидкості хімічної реакції при мінімальній витраті хімічних реагентів.

На рис.1 наведено експериментальні дані ступінчастої зміни величини Eh при окисненні ціанідів гіпохлоритом натрію з корекцією величини рН водного середовища гідроксидом натрію.

Відповідно до алгоритму експерименту ціаністи стічної води подаються в механічний змішувач-реактор. Після наповнення змішувача-реактора на

кожному циклі спочатку дозується розчин NaOH для підвищення величини рН до 10,5, а потім розчин NaOCl для збільшення Eh до величини, необхідної для окислення ціанідів. Після кожного циклу дозування реагентів стічна вода перемішується без дозування реагентів для протікання окислювальної реакції, після чого включається наступний цикл дозування реагентів. Так, на першому циклі уводять окисник для збільшення величини Eh до значень на 100-200 мВ більше, ніж вихідне значення, потім на інших циклах до проміжних значень Eh і до кінцевої величини 950-1050 мВ, яка забезпечує повне окислення ціанідів. На кожному циклі проводиться дозування луку для підтримки рН не менше 10,5, оскільки в процесі окислення ціанідів цей параметр знижується.

Після досягнення кінцевої величини Eh перемішування стічної води продовжується впродовж певного часу. Якщо протягом цього часу величина Eh не знижується нижче заданої величини, то зразок стічної води подається на аналіз в хімлабораторію на наявність ціанідів та залишкового активного хлору, концентрація якого повинна бути не менше 2-3 мг/л. Така надлишкова кількість гіпохлориту натрію гарантує повне знешкодження ціаністичних стічних вод. За відсутності ціанідів стічна вода скидається. Якщо в стічній воді ціаніди присутні, то цикл її обробки хімічними реагентами повторюється в прискореному режимі. Ступінчасте регулювання рН і Eh водного середовища під час окислення ціанідів дозволяє забезпечити мінімальну кількість введених реагентів і уникнути їх передозування, а також надає можливість контролювати хід хімічної реакції та досягти повного окислення ціанідів в умовах зміни параметрів стічної води.

Для реалізації алгоритму управління та розробки систем автоматичного комплексного регулювання величин Eh та рН стоків складена математична модель процесів хімічної обробки стоків у механічному змішувачі-реакторі періодичної дії як об'єкті автоматизації. На основі отриманої моделі проведено комп'ютерне моделювання систем автоматичного регулювання процесами відновлення домішок стічних вод за допомогою програмного середовища MatLab Simulink.

Аналіз експериментальних даних показує що об'єкт відноситься до багатомірних із двома взаємопов'язаними входами і виходами. За даними експерименту знаходимо передаточні функції прямих і перехресних зв'язків між вхідними і вихідними параметрами [8]. Передаточна функція прямого каналу регулювання рН, що відображає вплив витрати луку на зміну рН у реакторі-змішувачі

$$W_{11}(s) = \frac{0,01}{22,3s + 1} \quad (1)$$

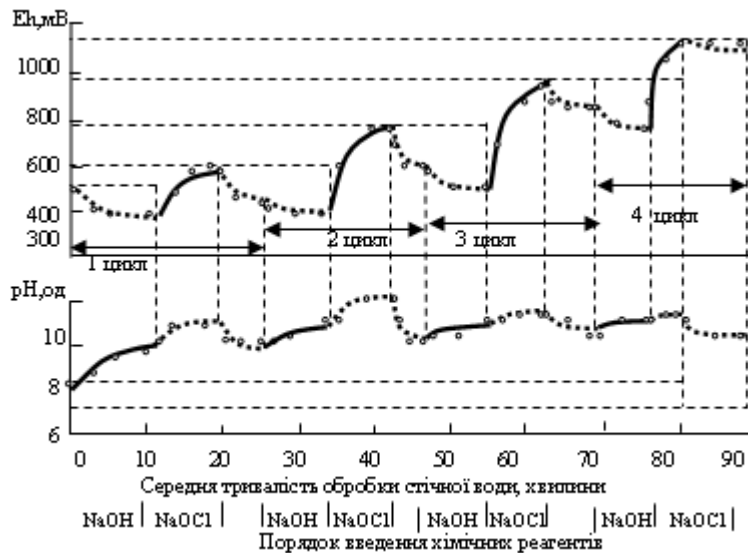


Рис.1. Експериментальні дані зміни величини Eh при окисненні ціанідів гіпохлоритом натрію та з корекцією величини pH водного середовища гідроксидом натрію (суцільні лінії – зміна Eh та pH під час дозування реагентів, переривчасті лінії – зміна Eh та pH без дозування реагентів)

Передаточна функція перехресного каналу зв'язку, яка характеризує вплив витрати луку на зміну pH

$$W_{12}(s) = \frac{-0,0012}{15,4s + 1} \quad (2)$$

Знак «-» показує, що зростання показника pH призводить до зменшення показника Eh.

Передаточна функція каналу регулювання Eh

$$W_{22}(s) = \frac{0,0025}{17,1s + 1} \quad (3)$$

Передаточна функція впливу витрати окисника на зміну Eh стічної води

$$W_{21}(s) = \frac{-0,01}{32,6s + 1} \quad (4)$$

На основі знайдених передаточних функцій здійснене моделювання експерименту в середовищі прикладного програмного забезпечення Simulink (рис.2.)

Модель, представлена на рис. 2, є розімкнутою системою програмного автоматичного управління, що реалізує алгоритм комплексного регулювання величин Eh та pH багатокомпонентних стічних вод в змішувачі-реакторі з механічним перемішуванням [9].

На підставі отриманих даних розроблена технологічна схема окислення ціанідів та інших домішок із системою автоматичного регулювання Eh та pH за допомогою промислового контролера (рис. 3). Вихідна стічна вода, що вміщує важкі метали, подається в один із змішувачів-реакторів (1), в якому відбувається ступінчасте регулювання pH та Eh за допомогою реагентів NaOH та NaOCl, що подаються

насосами-дозаторами (4) відповідно з баків (2) та (3). У змішувачі-реакторі (1) протікає процес руйнування ціанідних комплексів з металами, окислення ціанідів і утворення гідроксидів важких металів у лужному середовищі. Після початку дозування реагентів у першій змішувач-реактор вихідна стічна вода направляється у другий змішувач-реактор. Далі оброблена вода із першого змішувача-реактора насосом (5) подається у відстійник (6) та фільтр (7) для вилучення гідроксидів важких металів. Обидва змішувачі-реактори працюють поперемінно у непроточному режимі.

Керування процесом ступінчастого дозування реагентів проводиться за допомогою промислового контролера (8), який в автоматичному режимі обробляє отримані з датчиків pH (9) і Eh (10) дані та подає сигнал на дозування необхідної кількості реагентів до заданого значення pH і відповідних проміжних значень Eh в залежності від кількості вибраних циклів обробки води у змішувачі-реакторі. Це дозволяє більш плавно та швидко регулювати pH та Eh, суттєво зменшити перерегулювання і за рахунок цього оптимізувати витрату реагенту в залежності від вихідних показників якості стічної води. Крім того, контролер керує роботою механічних мішалок, насосів для подачі вихідної та перекачки обробленої стічної води, вентилів, що переключають подачу стічної води та розчинів реагентів у змішувачі-реактори і відстійник та випускають з нього осад. Впровадження за даною технологічною схемою здійснені в ряді підприємств України та Білорусі.

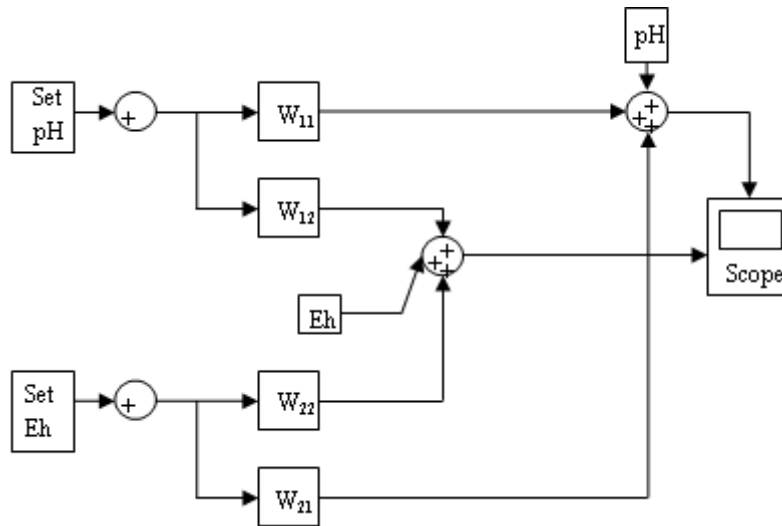


Рис.2. MatLab-модель процесу комплексного регулювання параметрів pH та Eh ціанідних стічних вод

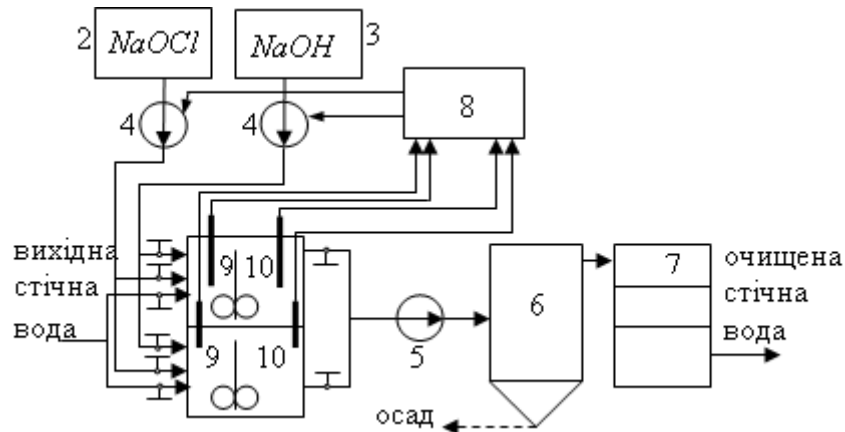


Рис. 3. Технологічна схема окислення ціанідів із системою автоматичного регулювання параметрів pH та Eh.

1- механічні реактори-змішувачі, 2 – вузол приготування розчину $NaOCl$, 3 - вузол приготування розчину $NaOH$, 4 - насоси-дозатори реагентів, 5 – насос, 6 – відстійник, 7 – фільтр, 8 – промисловий контролер, 9,10 – датчики pH та Eh

Висновки

Розроблена система автоматичного регулювання параметрів pH та Eh із використанням ступінчастого алгоритму зміни даних параметрів при очищенні промислових стічних вод при від токсичних домішок дозволяє забезпечити мінімальну кількість введених реагентів. Так, у порівнянні із окремим регулюванням параметрів pH та Eh під час ступінчастого введення реагентів кількість гіпохлориту натрію на окислення ціанідів зменшено на 30-40%. Окрім того, САР з алгоритмом ступінчастого регулювання pH і Eh дозволяє контролювати хід хімічної реакції, досягти повного окислення або відновлення забруднюючих домішок.

Рецензент: д-р техн. наук, проф.. Древецький В.В., Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне.

Автор: ФИЛИПЧУК Леонід Вікторович
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Національний університет водного господарства та природокористування, старший викладач
E-mail:leonmail@ukr.net

Література

1. Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. - М.: Металлургия, 1989. - 224 с.
2. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. - Л.:Химия, 1977.- 464 с.
3. Смирнов Д.Н., Дмитриев А.С. Автоматизация процессов очистки сточных вод химической промышленности. - Л., Химия, 1991. - 200 с.
4. Манусова Н. Б. Реакторы в процессах реагентной очистки сточных вод как объекты автоматического управления / Н. Б. Манусова, Р. А. Осина, Н. П. Воробьева // IX Всесоюз. конф. «Хим. реакторы» : сб. материалов. – Гродно : Азот, 1986. – Ч. III. – С. 204-207.
5. Ефимов В.Т., Молчанов В.И., Ефимов А.В. Методы расчетов в автоматизации химико-технологических и теплоэнергетических процессов. Харьков. 1998 г.
6. Киричков В.Н. Идентификация объектов систем управления технологическими процессами.—К.: Вища школа, 1990.-263 с.
7. Instrumentation, control and automation in the water industry – state-of-the-art and new challenges G. Olsson Water Science & Technology Vol 53 No 4-5 pp 1–16 © IWA Publishing 2006.
8. Microanalysis system with automatic valve operation, pH regulation, and detection functions Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 132, Issue 2, 16 June 2008, Pages 614-631.
9. Филипчук В.Л., Клепач М.І., Филипчук Л.В. Спосіб автоматизації процесу регулювання величин рН та Eh багатоконпонентних стічних вод. - Патент України на КМ № 65459, Бюл. №23, 2011.
10. Клепач М.І., Филипчук Л.В. Моделювання процесів автоматичного регулювання рН та Eh у змішувачі-реакторі механічного типу -- Зб.наук.пр.Вісник НУВГП.-Рівне: НУВГП.-2006.-Вип.№3(35). - с.254-259.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ pH И Eh ПРИ ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Л.В. Филипчук

Приведены результаты исследований процессов автоматического комплексного регулирования параметров pH и Eh многокомпонентных сточных вод в механических смесителях-реакторах. Проведено компьютерное моделирование смесителя-реактора, который используется для изменения pH и Eh стоков, как объекта управления. Предложена технологическая схема окисления цианидов с системой автоматического регулирования pH и Eh.

Ключевые слова: сточные воды, комплексное регулирование pH та Eh, компьютерное моделирование.

AUTOMATIC REGULATION OF pH AND Eh PARAMETERS IN TREATMENT OF PRODUCTION WASTEWATERS

Results of exploration of complex step regulation of pH and Eh parameters in production wastewaters are shown and described. Transfer functions of each line of control of current parameters are identified. Computer modeling and calculation of its parameters and constants of current process are shown. Algorithm of control of pH and Eh regulation process for modern types of hardware and software instrumentations of automation is proposed. Technological scheme with usage of automatic complex regulation of multicomponent wastewater in mechanical mixers-reactors is proposed.

Keywords: wastewaters, complex pH and Eh regulation, computer modeling.