

Аналіз цифрової системи пов'язаного регулювання параметрів рН та Eh металовмісних стоків промислових виробництв

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.082>

Микола Клепач

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
m.i.klepach@nuwm.edu.ua

Леонід Филипчук

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
l.v.fylpchuk@nuwm.edu.ua

Марко Клепач

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
m.m.klepach@nuwm.edu.ua

Анотація—Побудовано дискретну модель автоматичної системи пов'язаного регулювання параметрів рН та Eh металовмісних стоків, синтезовано цифрові регулятори, досліджено вплив перехресних каналів та реалізовано повну автономність каналів регулювання рН та Eh за допомогою компенсаторів. Система може бути реалізована за допомогою мікропроцесорних засобів автоматизації.

Ключові слова— реагентна очистка, промислові стоки, регулювання рН та Eh, пов'язане регулювання.

I. ВСТУП

Важливим фактором впливу на процеси очищення металовмісних багатокомпонентних стічних вод промислових виробництв є регулювання активної реакції (рН) та окисно-відновного потенціалу (Eh) стоків шляхом дозування різних реагентів: кислот, лугів, окисників та відновників. Зокрема, луги використовуються для осадження важких металів, окисники – для руйнування ціанідів та органічних домішок, відновники – для знешкодження такого токсичного елемента, як шестивалентний хром. Від точності досягнення необхідних значень рН та Eh залежить підтримання потрібних швидкостей та напрямку хімічних реакцій в змішувачах-реакторах очисних установок та ступінь вилучення забруднень.

Розкриття закономірностей реагентної обробки стоків і оцінка ефективності автоматизації змішувачів-реакторів у яких протікають ці процеси не можливі без експериментальних досліджень і математичного моделювання автоматичних систем регулювання (АСР).

II. ПОБУДОВА ДИСКРЕТНОЇ МОДЕЛІ АСР

Важливим фактором у результаті проведених експериментальних досліджень [1] встановлено наявність сильних перехресних зв'язків між каналами регулювання рН та Eh в змішувачі-реакторі механічного типу та побудовано безперервну модель об'єкта регулювання при відновленні хрому лужним сульфідом натрію та з корекцією величини рН водного середовища соляною кислотою (рис. 1).

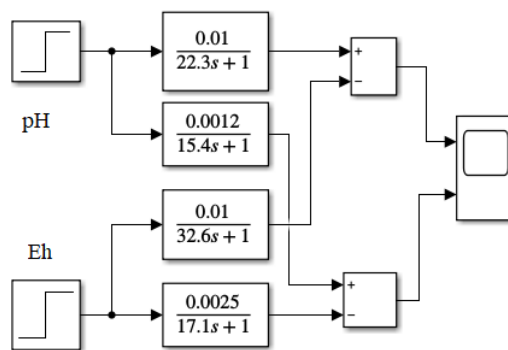


Рисунок 1. Simulink модель процесів регулювання параметрів рН та Eh хромвмісних стічних вод

Враховуючи суттєвий вплив взаємних перехресних зв'язків між каналами регулювання, було реалізовано ступінчасте введення реагентів із виділенням часу для стабілізації Eh і рН та з поступовим покроковим наближенням величини Eh до її кінцевого значення, при якому забезпечується повне окислення-відновлення забруднень [2].

Однак, сучасні мікропроцесорні засоби автоматизації дозволяють будувати автономні (незалежні) системи автоматичного регулювання в

яких нейтралізується вплив одного каналу на інший впровадженням додаткових зовнішніх перехресних зв'язків за допомогою динамічних ланок-компенсаторів. При цьому компенсуючі імпульси можуть подаватися на входи виконавчих пристроїв, якими служать насоси-дозатори реагентів з мікропроцесорним управлінням. Це спрощує реалізацію компенсаторів і не вимагає зміни їх параметрів при зміні налаштувань регуляторів. Передаточні функції компенсаторів визначені з умов автономності при коефіцієнті передачі насоса дозатора 1 мл/с·мА мають вигляд:

$$W_{K1}(s) = \frac{0.02s + 0.0012}{0.039s + 0.0025},$$

$$W_{K2}(s) = \frac{22.3s + 1}{32.6s + 1}.$$

Ці передаточні функції компенсаторів є інтегро-диференціальними ланками і можуть бути реалізовані програмно в програмованих логічних контролерах (ПЛК).

III. АНАЛІЗ АСР

Для аналізу і синтезу цифрової системи пов'язаного регулювання здійснимо перехід від аналогової до дискретної форми для цього необхідно знайти Z-зображення зведеної неперервної частини системи. Засоби пакету MATLAB дозволяють оперативно здійснити перетворення передаточних функцій з аналогової форми в дискретну. Для цього служить функція c2d, аргументами якої є передаточна функція в аналоговій формі, період дискретизації та метод екстраполяції. Цифро-аналогові перетворювачі регуляторів здійснюють екстраполяцію методом нульового порядку, який у функції c2d використовується за замовчуванням. Отже, в командній стрічці MATLAB задається аналогова передаточна функція у вигляді коефіцієнтів поліномів чисельника і знаменника:

```
>> W11=tf([0.01],[22.3 1])
```

```
W11 =
    0.01
-----
    22.3 s + 1
Continuous-time transfer function.
```

Далі, для переходу до дискретної форми виконується команда:

```
>> WD11=c2d(W11,0.1)
WD11 =
    4.474e-05
-----
    z - 0.9955
Sample time: 0.1 seconds
Discrete-time transfer function.
```

Період дискретизації T_0 рівний 0.1с є фіксованим і відповідає циклу виконання програми користувача для ПЛК українського підприємства Мікрол. Подібним чином визначаються інші дискретні передаточні функції системи. У результаті цифрова модель системи автономного регулювання приймає вигляд наведений на рис. 2.

Алгоритм роботи цифрового регулятора описується дискретною передаточною функцією

$$W_{PID}(z) = P + IT_0 \frac{1}{z-1} + D \frac{N}{1+NT_0 \frac{1}{z-1}}.$$

Для знаходження оптимальних параметрів регуляторів як для одноконтурних систем при розімкнутих перехресних зв'язках об'єкта використано систему Automated tuning з блоку параметрів PID-регулятора. Система оптимізації забезпечує задане перерегулювання при обмеженні на запаси стійкості системи та включає розширені функції, такі як захист від насичення інтегратора (Anti-windup), зовнішнє скидання та відстеження сигналу. Вікно інструментів та оптимізовану перехідну характеристику наведено на (рис. 3).

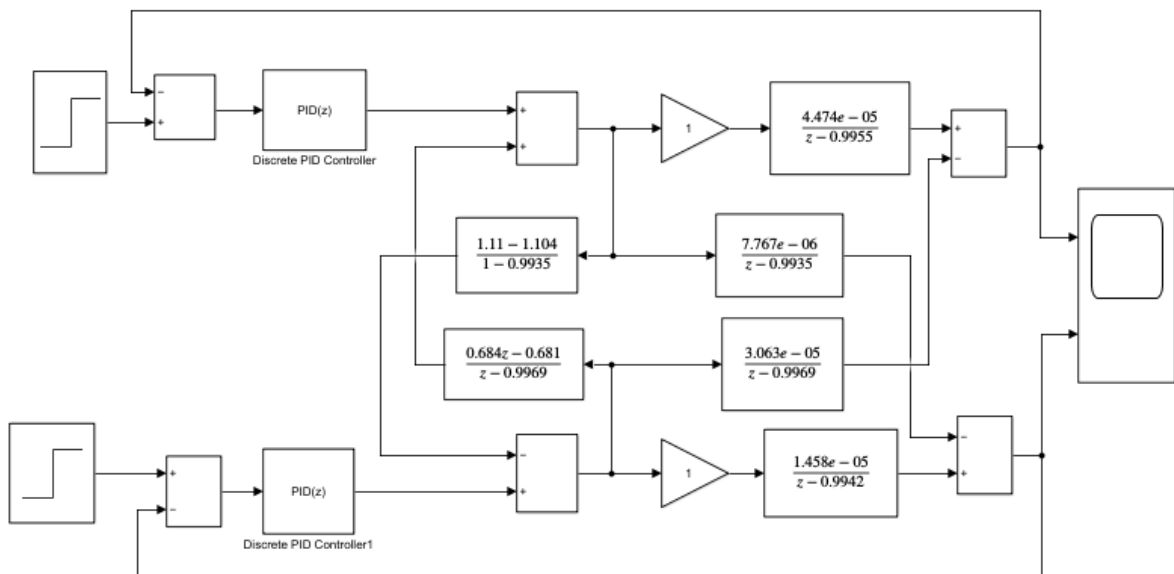


Рисунок 2. Simulink модель цифрової системи пов'язаного регулювання параметрів pH та Eh стоків

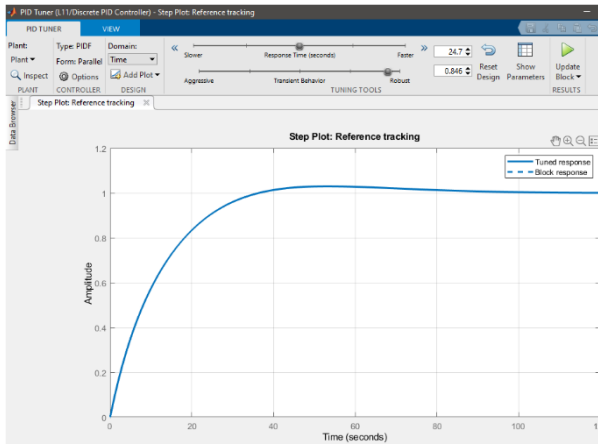


Рисунок 3. Вікно оптимізації параметрів регулятора за каналом рН

Результати оптимізації параметрів регулятора зведено в табл. I.

ТАБЛИЦЯ I. РЕЗУЛЬТАТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	164.5159	164.5159
I	10.5896	10.5896
D	216.8185	216.8185
N	0.17041	0.17041

ТАБЛИЦЯ II. ХАРАКТЕРИСТИКИ САР рН

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	23.1 seconds	23.1 seconds
Settling time	70.3 seconds	70.3 seconds
Overshoot	2.95 %	2.95 %
Peak	1.03	1.03
Gain margin	46.9 dB @ 31.4 rad/s	46.9 dB @ 31.4 rad/s
Phase margin	84.6 deg @ 0.081 rad/s	84.6 deg @ 0.081 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

На рис. 4 показано відгук параметра рН на одиничний стрибок зміни завдання Eh при нульовому сигналі на вході системи регулювання рН.

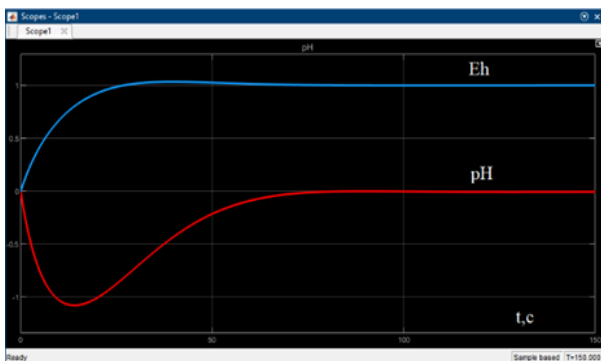


Рисунок 4. Відгук системи регулювання каналу рН на зміну Eh

Результат впровадження компенсуючого імпульсу з виходу регулятора Eh на вхід виконавчого пристрою регулювання рН (при тих же умовах) показано на рис. 5.

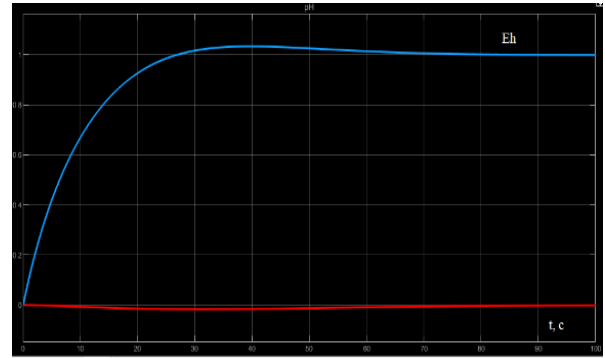


Рисунок 5. Компенсація впливу регулятора каналу Eh на канал регулювання Ph (червона лінія)

Остаточно, перехідні характеристики цифрової автоматичної системи регулювання при забезпеченні повної автономності каналів регулювання наведено на рис. 6.

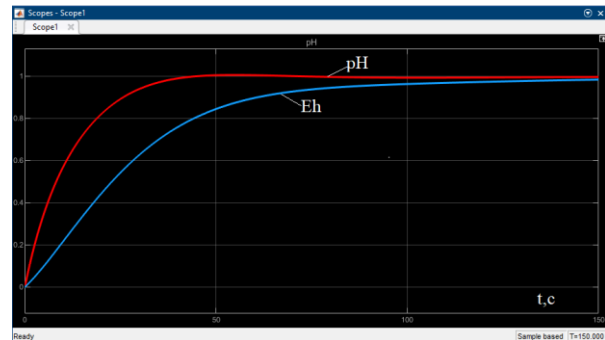


Рисунок 6. Перехідні характеристики цифрової автономної САР

IV. ВИСНОВКИ

Реалізація автономного регулювання параметрів рН і Eh водного середовища мікропроцесорними засобами автоматизації під час окислення-відновлення забруднень забезпечує мінімальну кількість введених реагентів, дозволяє контролювати хід хімічних реакцій та досягти повного окислення або відновлення забруднюючих домішок в режимі автоматизованого дозування хімічних реагентів.

Впровадження компенсаторів дозволить здійснювати одночасне разове дозування реагентів, чи скоротити число інтервалів почергового дозування. Система автоматизації може бути легко перенастроєна на видалення інших типів домішок.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Филипчук В.Л. Очищення багатокомпонентних металовміщуючих стічних вод промислових підприємств. Рівне: УДУВГП, 2004. 232 с
- [2] Филипчук В.Л., Клепач М.І., Филипчук Л.В. Спосіб автоматизації процесу регулювання величин рН та Eh багатокомпонентних стічних вод. Патент України на КМ № 65459, Бюл. №23, 2011.