

УДК 628.16.08.001.57.001.26

**Клепач М. І., к.ф.-м.н. доцент, Филипчук Л. В., ст. викладач**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### **АНАЛІЗ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ рН ТА Eh ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД У ЗМІШУВАЧІ-РЕАКТОРІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ**

**Наведено результати дослідження і комп'ютерного моделювання процесів автоматичного комплексного регулювання параметрів рН та Eh багатокомпонентних стічних вод в механічних змішувачах-реакторах при реагентному способі обробки стоків.**

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

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

**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. Зокрема, луги використовуються для осадження важких металів, окисники – для руйнування ціанідів та органічних домішок, відновники – для знешкодження такого токсичного елемента, 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 і до зміни рН середовища та, навпаки, коригування величини рН викликає зміну величини Eh. Це негативно впливає на протікання оки-

сно-відновних процесів і потребує додаткового уведення реагентів для підтримування оптимальних значень рН та Eh.

**Вирішення проблеми** полягає в застосуванні ступінчастого введення хімічних реагентів для регулювання рН та Eh стічних вод [1] та автоматизації процесу. Це дозволить підтримувати оптимальні значення цих параметрів впродовж 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 зміни величини Eh при відновленні хрому лужним сульфідом натрію та з корекцією величини рН водного середовища соляною кислотою.

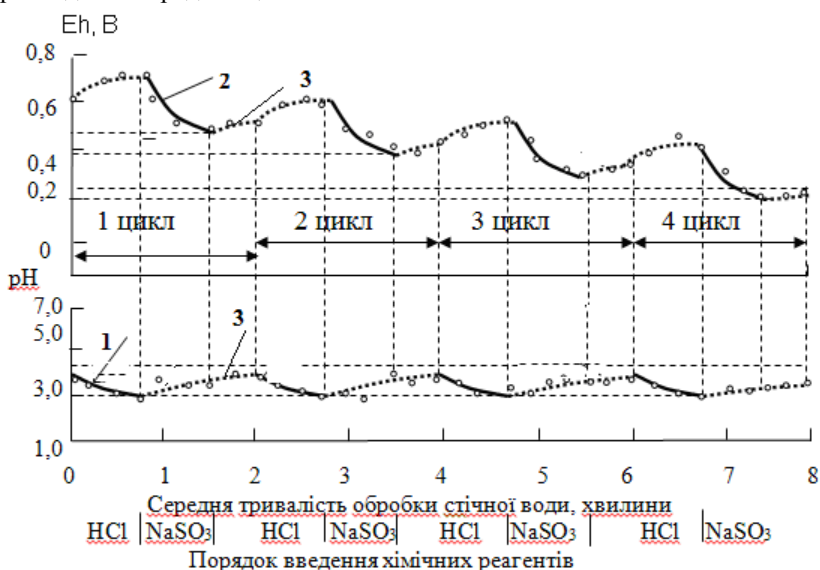


Рис. 1. Експериментальні дані процесу обробки хромвмісних стоків

В механічний змішувач-реактор на обробку поступають стоки з  $Eh=0,55 \dots 0,60$  В та  $pH=4$ . Спочатку їх підкислюють соляною кислотою для зниження рН до оптимальної величини  $pH \leq 3,0$  (рис. 1, відрізок 1), при якій ефективно протікає реакція відновлення, при цьому величина Eh води підвищується до  $0,70 \dots 0,75$  В. Далі у воду вводять розчин сульфїту натрію для зниження величини Eh до першого стабільного проміжного значення потенціалу  $Eh=0,5$  В (рис. 1, відрізок 2), при якому починається реакція відновлення. З цього моменту подача реагентів припиняється і протікає реакція відновлення хрому (VI). У про-

цесі реакції споживаються іони водню рН води, в результаті чого величина рН стічної води підвищується (рис. 1, відрізок 3), вище критичного значення  $pH > 3,0$ , що призводить до її гальмування. Далі цикли почергового дозування реагентів для зниження в Eh та стабілізації рН повторюються до повного відновлення хрому (VI). Реакція відновлення хрому (VI) вважається закінченою, якщо на відріжку часу стабілізації процесів рН та Eh не будуть підвищуватись. Ступінчасте регулювання параметрів рН і Eh забезпечує оптимальне дозволяє зменшити кількість сульфїту натрію для відновлення хрому (VI) – на 15-25%.

**Для реалізації алгоритму** управління та розробки систем автоматичного комплексного регулювання величин Eh та рН стоків [2] за наведеними експериментальними даними складемо математичну модель процесів хімічної обробки стоків в механічному змішувачі-реакторі періодичної дії як об'єкті автоматизації. На основі отриманої моделі проведено комп'ютерне моделювання систем автоматичного регулювання процесами відновленням домішок стічних вод за допомогою програмного середовища MatLab Simulink.

**Аналіз експериментальних даних** показує, що об'єкт є багатомірним із двома взаємопов'язаними входами і виходами. За даними експерименту знайдемо передаточні функції прямих і перехресних зв'язків між вхідними і вихідними параметрами.

Передаточна функція прямого каналу регулювання рН, що відображає вплив витрати кислоти на зміну рН у реакторі-змішувачі:

$$W_{11}(s) = \frac{0.01}{22.3s + 1}. \quad (1)$$

Передаточна функція перехресного каналу зв'язку, яка характеризує вплив витрати кислоти на зміну рН

$$W_{12}(s) = \frac{-0.0012}{15.4s + 1}. \quad (2)$$

Знак «-» показує, що зростання показника рН 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 здійснено моделювання експерименту в середовищі прикладного програмного забезпечення Simulink (рис. 2).

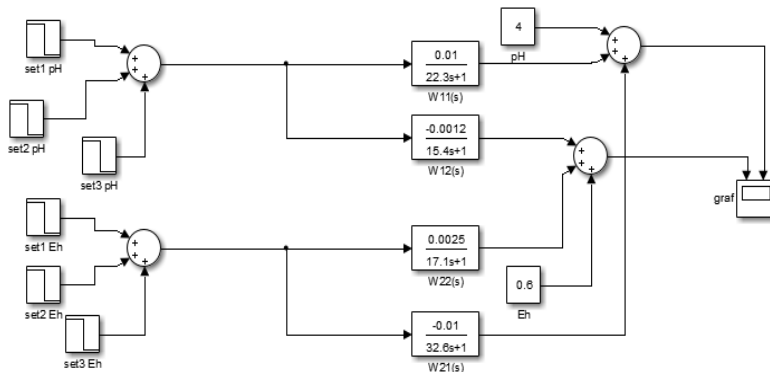


Рис. 2. MatLab модель процесів ступінчастого регулювання параметрів pH та Eh хромвмісних стічних вод

По суті, 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 періодичної дії. Результати моделювання наведено на рис. 3.

Як видно з рис. 3 результати комп'ютерного моделювання повністю відповідають експериментальним даним (рис. 1), а побудована модель об'єкта може бути використана для відпрацювання алгоритмів управління.

Добитися регулювання технологічних параметрів без усталеної помилки та суттєво зменшити коливання величини pH можна за рахунок використання замкнутих систем автоматизації (рис. 4).

Для дозування реагентів використано мембранний насос-дозатор з електромагнітним приводом і мікропроцесорним управлінням. З технічних характеристик знаходимо коефіцієнт передачі насоса-дозатора  $K_H=0,046$  мл/с.

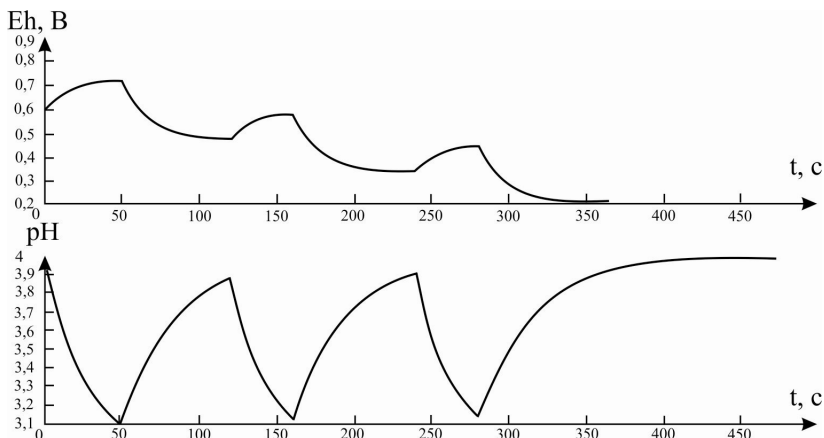


Рис. 3. Перехідні характеристики об'єкта регулювання:  
а) по каналу Eh, б) по каналу рН

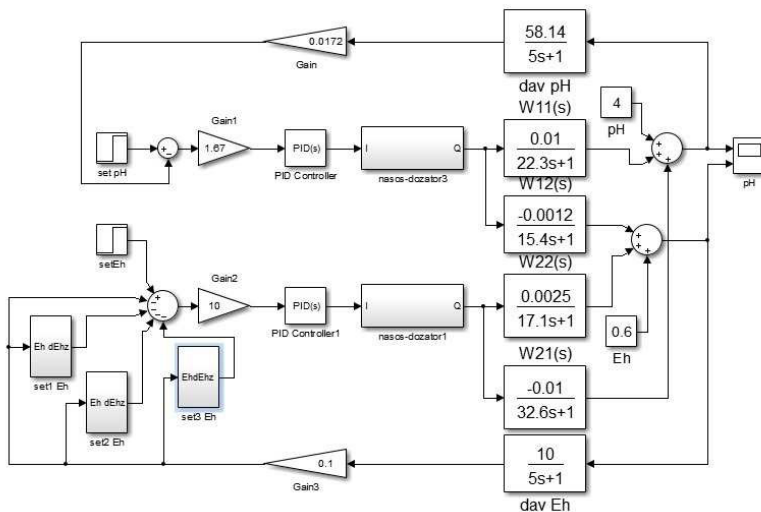


Рис. 4. Модель замкнутої системи автоматичного регулювання параметрів Eh та рН

Впровадження сучасних систем автоматичного регулювання (САР) параметрів рН та Eh у процесах дозування реагентів дозволяє значно зменшити кількість хімічних речовин, що дозуються у стічні води, і розширити можливості повторного використання вод у виробничих

процесах. Окрім того, ступінчасте регулювання рН і Eh дозволяє контролювати хід хімічної реакції, досягти повного окислення чи відновлення забруднюючих домішок у режимі автоматизованого дозування хімічних реагентів.

Eh, В

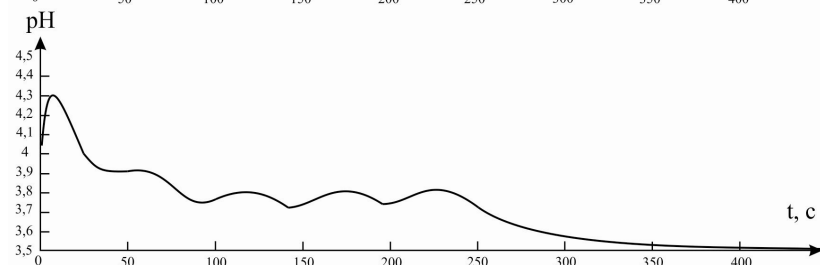
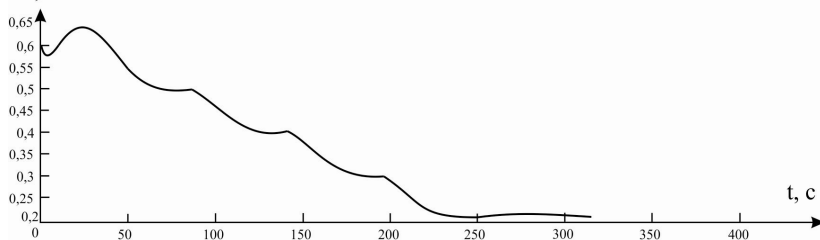


Рис. 3. Перехідні характеристики замкнутої системи автоматичного регулювання

**Ступінчасте регулювання** параметрів рН і Eh водного середовища під час окислення-відновлення забруднень дозволяє забезпечити мінімальну кількість введених реагентів, яка відповідає їх стехіометричним витратам. Так, у порівнянні із комплексним регулюванням рН та Eh під час ступінчастого введення реагентів кількість гіпохлориту натрію на окислення сечовини додатково зменшено на 30-40%, а кількість сульфїту натрію на відновлення хрому (VI) – на 15-25%. Окрім того, ступінчасте регулювання рН і Eh дозволяє контролювати хід хімічної реакції, досягти повного окислення або відновлення забруднюючих домішок в режимі автоматизованого дозування хімічних реагентів.

1. Филипчук В. Л. Очищення багатокомпонентних металовміщуючих стічних вод промислових підприємств / В. Л. Филипчук. – 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. 3. Филипчук Л. В. Автома-

тичне регулювання параметрів рН та Eh в процесах очищення стічних вод / Л. В. Филипчук, М. І. Клепач // Тези шостої міжнародної науково-практичної конференції "Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси". – Київ НАУ 2013. – С. 235-236.

Рецензент: д.т.н., професор Власюк А. П. (НУВГП)

---

**Klepatch M. I., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Fylypchuk L. V., Senior Lecturer (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)**

**ANALYSIS AND COMPUTER SIMULATION OF AUTOMATIC CONTROL PARAMETERS PH AND EH INDUSTRIAL WASTEWATER IN A MIXER REACTOR OF PERIODIC ACTION**

**The results of research and computer simulation of the multicomponent effluents pH and Eh parameters automatic complex control in mechanical mixer-reactors using the reagent processing method are disclosed.**

**Keywords: waste water, complex control of effluents pH and Eh, reagent processing method, computer simulation.**

---

**Клепач М. И., к.ф.-м.н., доцент, Филипчук Л. В., ст. преподаватель, (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)**

**АНАЛИЗ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ рН и Eh ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В СМЕСИТЕЛЯХ-РЕАКТОРАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

**Приведены результаты исследования и компьютерного моделирования процессов автоматического комплексного регулирования параметров рН и Eh многокомпонентных сточных вод в механических смесителях-реакторах при реагентном способе обработки стоков.**

**Ключевые слова: сточные воды, комплексное регулирование рН и Eh стоков, реагентная обработка стоков, компьютерное моделирование.**

---