

Л.В. ФИЛИПЧУК

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ РЕАГЕНТУ В ГІДРАВЛІЧНОМУ РЕАКТОРІ-ЗМІШУВАЧІ

Abstract: It is conducted computer modeling process of change of quantity of active reaction of environment (pH), which passes at sewage treatment from ions of heavy metals in a huadraulic mixing reactor of tubular type on the base of equations of mathematical physics, which presented by the differential equations in partition derivatives.

Key words: computer modeling, active reaction of environment (pH), sewage treatment, hydraulic reactor-mixer, differential equations in partition derivatives.

Анотація: Проведене комп'ютерне моделювання процесу зміни величини активної реакції середовища (pH), що проходить при очищенні стічних вод від іонів важких металів у гідравлічному реакторі-змішувачі трубчатого типу на основі рівнянь математичної фізики, що представлені диференціальними рівняннями в частинних похідних.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, активна реакція середовища pH, очистка стічних вод, гідравлічний реактор-змішувач, диференціальні рівняння в частинних похідних.

Аннотация: Проведено компьютерное моделирование процесса изменения величины активной реакции среды (pH), который проходит при очистке сточных вод от ионов тяжёлых металлов в гидравлическом реакторе-смесителе трубчатого типа на основании уравнений математической физики, представленных дифференциальными уравнениями в частных производных.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, активная реакция среды pH, очистка сточных вод, гидравлический реактор-смеситель, дифференциальные уравнения в частных производных.

1 . Вступ

Величина активної реакції (pH) є узагальнюючим параметром при фізико-хімічній очистці стічних вод від різних домішок, зокрема, іонів важких металів (IBM). Так, осадження IBM у вигляді малорозчинних сполук (гідроксидів, карбонатів, фосфатів, сульфідів), окислення та відновлення металовміщуючих домішок відбувається при підлужуванні або підкисленні стічної води до відповідних значень pH середовища [1].

Оскільки від точності досягнення необхідних значень pH значно залежить ступінь вилучення забруднень, то на даний час вимоги до систем дозування реагентів за допомогою сучасних апаратних засобів значно підвищились.

2. Аналіз попередніх досліджень

Головною проблемою регулювання величини активної реакції є те, що зміна величин pH відбувається згідно з логарифмічними залежностями, для яких характерними є значна нелінійність. Значно ускладнює регулювання pH буферна дія водного середовища, що гальмує зміну pH при додаванні кислоти або лугу.

При введенні рідких реагентів для регулювання pH в непроточних і проточних умовах часто використовуються механічні, в проточних – гідравлічні, а при використанні газів – барботажні реактори-змішувачі. Для попереднього регулювання pH найбільш доцільним є застосування гідравлічних реакторів-змішувачів трубчатого типу, в яких змішування реагентів із водою відбувається за рахунок процесів дифузії і конвекції після безпосередньої подачі реагенту в реактор, по якому рухається стічна вода.

Важливим фактором ефективного очищення води є оптимальне дозування реагентів в реактор-змішувач, оскільки від точності дозування залежить якість очищення стоків. Тому на очисних спорудах промислових підприємств використовують різноманітні системи автоматичного

регулювання як прості позиційні, так і багатоконтурні та самонастроювальні. Вони можуть бути побудовані на основі вимірювання рН в одній точці або містити додаткові канали інформації. Найчастіше дозування реагентів проводиться в одну стадію.

При значних коливаннях рН та буферності водної системи для забезпечення необхідної якості регулювання застосовуються багатостадійні системи, в яких регулювання параметра рН здійснюється в декількох реакторах (ступенях) послідовно. Недоліком даної схеми є висока вартість устаткування.

Складність фізико-хімічних процесів, що відбуваються в реакторах-змішувачах при застосуванні систем автоматичного регулювання рН, вимагає їх детального аналізу та комп'ютерного моделювання процесів із використанням сучасних пакетів прикладних програм. Однією із таких програм для комп'ютерного моделювання процесів та явищ, вважається програма FEMLAB з модулем Chemical Engineering компанії COMSOL, яка призначена для вирішення широкого кола задач, сформульованих системами рівнянь у частинних похідних методом скінченних елементів. Особливістю програми є можливість розв'язку тривимірних задач.

3. Мета роботи

Метою даної роботи є проведення комп'ютерного моделювання процесів у гідравлічному реакторі-змішувачі трубчатого типу для оптимізації його параметрів.

4. Матеріал та результати досліджень

Розглянемо гідравлічний реактор-змішувач трубчатого типу, в якому рухається кисла стічна вода. Для нейтралізації води по центру реактора-змішувача за допомогою тонкої трубки в напрямку руху потоку води подається лужний рідкий реагент. При потраплянні розчину NaOH в реакторі відбувається його перемішування із забрудненою водою, ефективність якого визначається коефіцієнтом віртуальної дифузії D_L . За цих умов трубчатий реактор описується рівнянням дифузії [2] з відповідними початковими і граничними умовами:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \nabla^2 C - U \nabla C - KC,$$

де $\frac{\partial C}{\partial t}$, $D_L \nabla^2 C$, $U \nabla C$, KC – відповідно члени, що враховують зміну концентрації реагенту з часом, перемішування, зміну концентрації в результаті переносу та швидкість протікання реакції.

Оскільки витрати реагенту досить малі в порівнянні із витратами стоків, приймаємо швидкості потоку в реакторі сталими $U(x, r) = const$.

Нехай в реактор-змішувач з радіусом R та довжиною L для попереднього підлужування поступає кисла стічна вода з величиною активної реакції середовища $pH=2...3$ та витратою $Q_1 = 10$ м³/год. Для підвищення рН по центру трубчатого реактора-змішувача здійснюється дозування 5% розчину NaOH з $pH=14$ через патрубок радіусом r . При цьому приймаємо, що підвищення рН у реакторі-змішувачі проводиться до величини $pH=9$, необхідної для гідратування іонів важких металів, тобто протікає тільки нейтралізація кислоти лугом.

Комп'ютерне моделювання процесу змішування, згідно з наведеними рівняннями, за допомогою програми FEMLAB з модулем Chemical показує, що розподіл рН у потоці води при змішуванні з реагентом має вигляд, наведений на рис. 1.

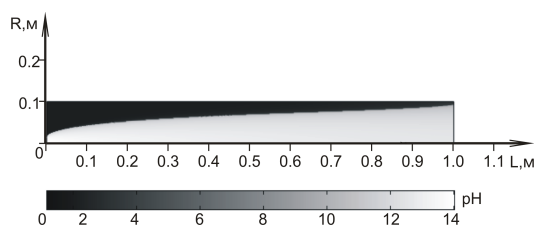


Рис. 1. Розподіл величини рН в об'ємі трубчатого реактора-змішувача

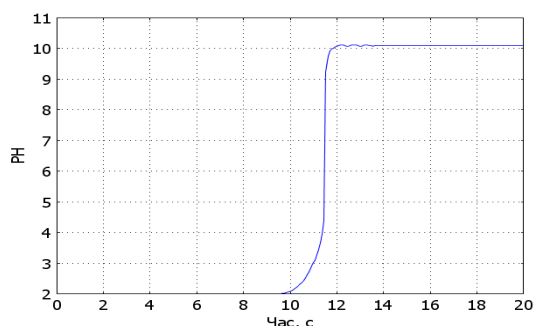


Рис. 2. Перехідна характеристика реактора-змішувача

Здійснюючи імітаційне моделювання, можна оптимізувати геометричні розміри реактора та значення режимних технологічних параметрів до заданого ступеня завершеності процесу змішування. Конкретизувати значення D_L можна шляхом вирішення оберненої задачі.

Важливе значення при розробці систем автоматичного регулювання рН в реакторі-змішувачі відіграє динаміка процесів змішування. В рамках прийнятої моделі досліджено часові характеристики процесу. На рис. 2 наведено графік перехідної характеристики зміни величини рН на виході із реактора-змішувача поблизу стінки реактора як реакцію на ступінчасту зміну витрати реагенту. Із рисунка видно, що на характеристиці

проявляється суттєве постійне запізнення, яке негативно впливає на якість автоматичного регулювання рН в апараті.

5. Висновки

В даній роботі шляхом моделювання досліджено процес зміни рН стічної води в гідравлічному реакторі-змішувачі трубчатого типу при додаванні до неї реагенту. Перехідна характеристика даного процесу відповідає теоретичній залежності. За результатами моделювання проведено оптимізацію параметрів технологічного процесу і геометричних розмірів реактора для найбільш ефективного та економічно вигідного регулювання рН. Робота має наукову і практичну цінність. Перспективою подальших досліджень є проведення моделювання інших типів реакторів-змішувачів, таких як гідравлічного йоршового типу та механічного.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Филипчук В.Л. Очищення багатокомпонентних металомісткуючих стічних вод промислових підприємств: (Монографія). – Рівне: УДУВГП, 2004. – С. 24–34.
2. Гордин И.В. Оптимизация химико-технологических систем очистки промышленных сточных вод / И.В. Гордин, Н.Б. Манусова, Д.Н. Смирнов. – Ленинград: Химия, 1977. – С. 57–65.

Стаття надійшла до редакції 31.08.2007