

Построение адаптивной системы для управления процессами водоподготовки

Богослав Н.М.; Гринюк Д.А.; Оробей И.О.

Кафедра автоматизации технологических процессов и электротехники, факультет химической технологии и техники
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
e-mail: hope_rez@mail.ru

Аннотация — в работе рассматриваются существующие подходы к моделированию процессов водоочистки методом коагуляции, рассматриваются преимущества и недостатки данных подходов.

Ключевые слова: водоподготовка, коагуляция, математическая модель, детерминированно-стохастическая природа процесса.

I. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы существует тенденция ухудшения состояния водных источников, тогда как требования к качеству воды постоянно повышаются. Несмотря на постоянное совершенствование технологических цепочек водообработки зачастую состояние оборудования и технических средств оставляет желать лучшего. Особенно это касается средств автоматизации. Экономически эффективное функционирование можно обеспечить только путем построения распределенной системы управления адаптацией технологических режимов работы основных аппаратов.

II. ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА

Коагуляция является одним из самых распространенных способов очистки природных и сточных вод от мелкодисперсных и коллоидных частиц. В результате применения реагентов в камерах хлопьеобразования происходит укрупнение и осаждение коллоидных частиц.

Рассматривая очистные сооружения как объект управления, можно прийти к выводу, что качество очистки воды зависит от физико-химического состояния источника воды; качества и дозы применяемых реагентов; химических и гидродинамических процессов, протекающие на очистных сооружениях.

Динамика процесса коагуляции имеет следующую картину. Вначале при интенсивном перемешивании проходят ненаблюдаемые визуально процессы; далее происходит помутнение системы, которое заканчивается формированием хлопьев; хлопья могут быть и мелкими, и крупными, а предполагаемые стадии могут иметь различную длительность.

Статическая характеристика очистных сооружений по каналу «расход коагулянта — качество очистки воды» имеет экстремальный характер: максимальная степень очистки воды достигается при определенной дозе коагулянта. Наглядное представление о влиянии дозы коагулянта на процессы осветления и обесцвечивания воды дает коагуляционная кривая (рис. 1). Ее можно разбить на три зоны. В зоне I при

малых дозах коагулянта эффект осветления и обесцвечивания воды отстаиванием или фильтрованием незначителен. В зоне II увеличение дозы коагулянта резко сказывается на эффекте осветления и обесцвечивания воды. Граница между зонами I и II носит название порога коагуляции. В зоне III увеличение дозы коагулянта не дает заметного улучшения эффекта осветления и обесцвечивания воды.

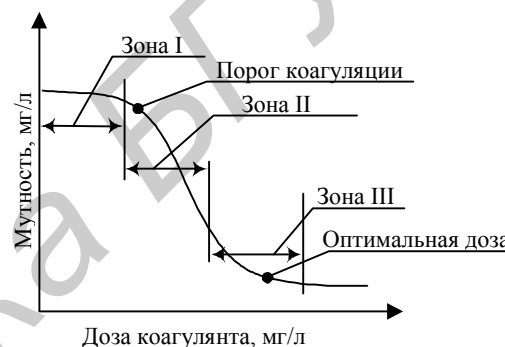


Рис. 1. Коагуляционная кривая

Для определения оптимальных параметров процесса коагуляции, позволяющих получить наиболее высокие показатели качества воды, необходима разработка математической модели с возможностью подстройки коэффициентов после проведения лабораторных анализов коагулянта и очищенной воды.

На сегодняшний день существуют различные подходы к построению математической модели очистки воды методом коагуляции.

В работе [1] авторы рассматривают динамику коагуляции подобно процессам, происходящим в проточном реакторе полного перемешивания с учетом адсорбции:

$$\begin{cases} \frac{dC_v}{dt} = -Bk_A a + qC_{v0} - \alpha q C_v - \beta q C_v \\ \frac{da}{dt} = k_A a - \beta q a + q a_0 \end{cases}, \quad (1)$$

где C_v - текущая концентрация «ионного» алюминия в объеме слоя взвешенного осадка; C_{v0} - концентрация «ионного» алюминия во входящем потоке воды (доза коагулянта); a - концентрация «гидролизованного» алюминия (хлопьев коагулянта); a_0 - концентрация взвеси в исходной воде (мутность); q - удельный объемный расход воды через осветлитель ($q = Q/V$, Q - объемный расход воды через осветлитель; V - объем зоны взвешенного осадка); α и β - доли входного потока, приходящиеся на обработанную и отводимую

в зону отстаивания воду ($\alpha + \beta = 1$); B – «стехиометрический» коэффициент (степень полимеризации).

Рассмотрение коагуляции с точки зрения распределенной системы конвективно-диффузионного переноса [2] предполагает учет параметров краевых условий, коэффициентов диффузии, скорости конвективного переноса, параметров слабопроницаемой тонкой составляющей среды.

Пусть на области $\Omega_T = \Omega \times (0, T)$ ($\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$, $\Omega_1 = (0, \xi)$, $\Omega_2 = (\xi, l)$, $0 < \xi < l < \infty$) определено параболическое уравнение:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial y}{\partial x} - \nu y \right) + \tilde{f}. \quad (2)$$

На концах отрезка $[0, l]$ заданы краевые условия:

$$\begin{aligned} - \left(k \frac{\partial y}{\partial x} - \nu y \right) &= u_1, \quad x = 0, \quad t \in (0, T) \\ k \frac{\partial y}{\partial x} - \nu y &= -u_2 y + u_3, \quad x = l, \quad t \in (0, T), \end{aligned} \quad (3)$$

В точке $x = \xi$ задаются следующие условия неидеального контакта:

$$\begin{aligned} \left[k \frac{\partial y}{\partial x} - \nu y \right] &= 0, \quad t \in (0, T); \\ \left\{ k \frac{\partial y}{\partial x} - \nu y \right\}^\pm &= r[y], \quad t \in (0, T), \end{aligned} \quad (4)$$

где $[\varphi] = \varphi^+ - \varphi^-$, $\varphi^\pm = \{\varphi\}^\pm = \varphi(\xi \pm 0, t)$, $r = \text{const} \geq 0$.

Начальное условие имеет вид

$$y|_{t=0} = y_0, \quad x \in \Omega_1 \cup \Omega_2. \quad (5)$$

Используя соотношения (2)-(5) можно идентифицировать параметры краевых условий. Аналогично с использованием параболических уравнений можно идентифицировать коэффициенты диффузии, скорости конвективного переноса, параметры слабопроницаемой тонкой составляющей среды.

Существует так же подход, в котором предполагается рассмотрение системы водоочистки как одного из процессов химической технологии и считается, что эти процессы имеют детерминированно-стохастическую природу, проявляющуюся в наложении стохастических особенностей гидродинамической обстановки в аппарате на процессы массо- и теплопереноса и процессы химического превращения [3].

Из анализа структуры эффектов физико-химических систем (ФХС) видно, что их характерной особенностью является их двойственная детерминированно-стохастическая природа. К важнейшим особенностям относятся: характер распределения элементов фаз по времени пребывания в аппарате; вид распределения включений дисперсных фаз по размерам; эффекты механического взаимодействия между фазами, приводящие к столкновению, дроблению и коалесценции включений; характер распределения включений по глубине химического превращения, вязкости, плотности и другим физико-химическим свойствам.

Принимая в качестве внутренних координат физико-химические характеристики включений дисперс-

ной фазы время пребывания частицы в аппарате θ , характерный размер или объем частицы r , концентрацию k -го ключевого компонента в частице c_k , температуру T , плотность ρ , вязкость μ , уравнение баланса свойств ансамбля частиц в развернутом виде будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p(x^{(e)}, x^{(i)}, t)}{\partial t} + \sum_i \frac{\partial}{\partial x_i^{(e)}} [v_i(x^{(e)}, t) p(x^{(e)}, x^{(i)}, t)] + \\ + \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{\partial \theta}{\partial t} x^{(e)}, x^{(i)}, t \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{dr}{dt} p(x^{(e)}, x^{(i)}, t) \right] + \\ + \sum_{k=1}^n \frac{\partial}{\partial c_k} [J_k p(x^{(e)}, x^{(i)}, t)] + \frac{\partial}{\partial \rho} \left[\frac{d\rho}{dt} p(x^{(e)}, x^{(i)}, t) \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial \mu} \left[\frac{d\mu}{dt} p(x^{(e)}, x^{(i)}, t) \right] + \frac{\partial}{\partial T} \left[p(x^{(e)}, x^{(i)}, t) \sum_{j=1}^N \frac{\Delta H_j}{c_p} J_j \right] = \\ = q(p(x^{(e)}, x^{(i)}, t)) \end{aligned} \quad (6)$$

где $q(p(x^{(e)}, x^{(i)}, t))$ учитывает исчезновение, зарождение и образование новых частиц за счет механического и химического эффектов, действия внешних источников и стоков; $x^{(i)} = (\theta, r, c_1, c_2, \dots, c_n, T, \rho, \mu)$; $J_k = dc_k/dt$ - скорость химической реакции в частице по k -му ключевому компоненту; n - число ключевых компонент из общего числа компонент, реагирующих в системе; ΔH_j - тепловой эффект j -ой реакции; N - число реакций в каждом элементе ФХС; C_p - объемная теплоемкость частицы.

Следует отметить, что систему водоочистки можно считать объектом с распределенными параметрами и представлять как марковскую систему, тогда дополнение допущения, лежащие в основе уравнения БСА, гипотезой о марковских свойствах системы, получим уравнение Колмогорова-Фокера-Планка.

$$\frac{\partial p(x, t)}{\partial t} + \sum_i \frac{\partial}{\partial x_i} [a_i(x, t) p(x, t)] + \sum_j \frac{\partial^2}{\partial x_j \partial x_j} [b_j(x, t) p(x, t)] = 0 \quad (7)$$

III. Выводы

С учетом широкого разброса параметров обрабатываемой среды, отсутствия приборов оперативного контроля физико-химических параметров для детерминированных моделей использование стохастического подхода позволяет учесть существующую информационную структуру объекта, создать универсальные шаблоны для различных стадий обработки воды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Лукашева Г. Н., Буткевич Д. М. Математическая модель коагуляции, протекающей в проточном реакторе полного перемешивания - Теоретические и прикладные проблемы сервиса, 2009. - № 1 (30). - 32 – 38 с.
- [2] Сергиенко, И. В., Дайнека В. С. Идентификация параметров системы конвективно-диффузионного переноса. - Кибернетика и системный анализ. - 2009. - №1 (45) - 42-63 с.
- [3] Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии / В. В. Кафаров, И. И. Дорохов, Л. Н. Липатов. - М.: Наука, 1982. - 344 с.